

STATKRAFTS LAVUTSLIPPS- SCENARIO 2020



INNHold

2

Oppsummering
av Statkrafts
Lavutslippsscenario
2020

5

Innledning:
Energjomstilling i
en verden med økt
usikkerhet



1. ENERGI-VERDEN I ENDRING

9

Kunnskap rundt
klimaendringene blir
bedre mens konse-
kvensene blir synligere

12

Fra København til Paris
til Glasgow: Et nytt tiår
med klimaforhandlinger

12

Europa fortsetter
med klima høyt på
dagsorden

14

Investeringene flytter
fra fossil til fornybar
energi

17

Rettferdig
klimaomstilling: Ulikt
utgangspunkt

2. LAVUTSLIPPSSCENARIOET: EN FORNYBAR OG ELEKTRISK VERDEN

23

Vi står midt i en
fornybarrevolusjon

30

Fornybar kraft og
batterier kutter utslipp
gjennom elektrifisering

31

Fornybart hydrogen og
ammoniakk der direkte
elektrisitet er uegnet

35

Sektorkobling gjennom
elektrifisering gir fleksi-
bilitet i kraftsystemet

37

Lavutslippsscenarioet
følger en 2-graders
utslippbane

3. HVA KAN BREMSE ELLER ØKE OMSTILLINGSFARTEN?

46

Lavutslippsscenarioet i
Europa – en kostnads-
effektiv omstilling

47

Høy, lav og forsinket
klimaambisjon mot
2050: Uforutsigbarhet
er kostbart

48

Styrket karbonprising
kutter utslipp tidligere

49

Barrierer mot elektrifiser-
ing i bygg, industri og
transport gir økt bruk
av hydrogen

51

Saktere kullutfasing i
Europa resulterer i
mer fornybar kraft

52

Barrierer mot vindkraft-
utbygging på land:
Andre løsninger for
energjomstillingen

54

Mål om en sosialt
rettferdig og kostnads-
effektiv energjomstilling

ANNEKS OG SLUTTNOTER

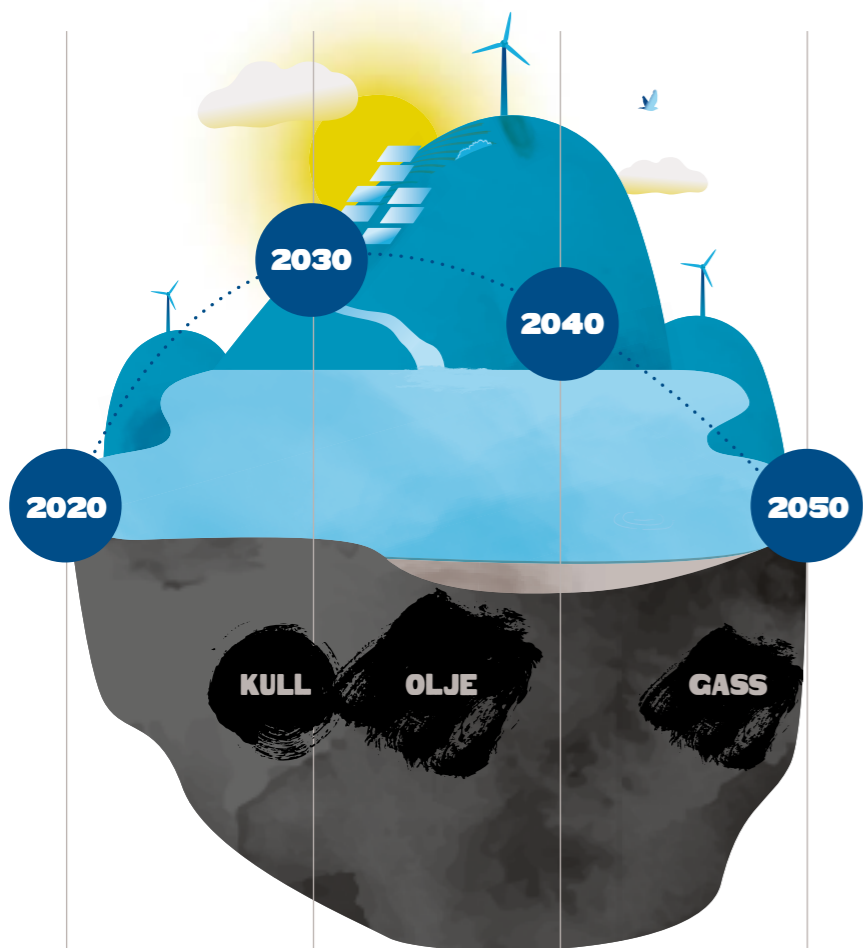
56

ANNEKS:
Nøkkelparametre og
forutsetninger

58

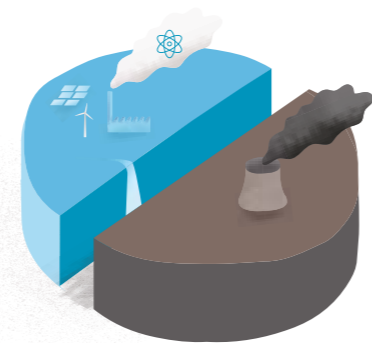
Sluttnoter og
kildehenvisning





Etterspørselen etter primærenergi ender på samme nivå i 2050 som i dag. Etterspørselen øker mot 2030, flater deretter ut og avtar så mot 2050. Dette skjer selv om verdens befolkning og økonomi fortsetter å vokse.

All fossil energi treffes av energiomstillingen, men til ulik tid. Etterspørselstoppen for kull inntreffer før 2025, for olje fem-syv år senere, mens etterspørselstoppen for gass inntreffer mot slutten av perioden.



2019 var det første året på flere tiår hvor kraftetterspørselen økte, mens den fossile kraftproduksjonen falt – og det første året der kjernekraft og fornybar energi sammen produserte like mye av verdens elektrisitet som kullkraft.



Alle nye personbiler blir elektriske og nær 60 % av nye tyngre kjøretøy går på batteri eller hydrogen i 2050.

OPPSUMMERING AV STATKRAFTS LAVUTSLIPPSSCENARIO 2020



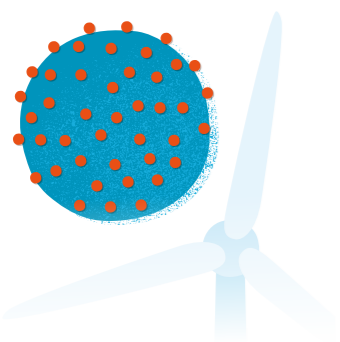
Energirelaterte CO₂-utslipp følger en 2-graders utslippsbane.



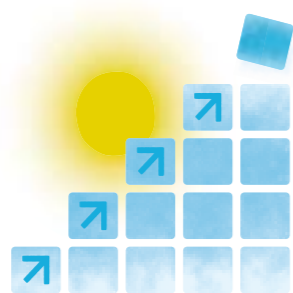
En fungerende karbonpris sammen med høye klimaambisjoner vil drive energiomstillingen raskere og kutte utslippene tidligere enn høye klimaambisjoner alene.



Forutsigbare klimaambisjoner og rammebetingelser er nødvendige forutsetninger for en effektiv omstilling av energisystemet. Forsinket og uforutsigbar klimaambisjon resulterer i feilinvesteringer og en dyrere omstilling.



Covid-19-krisen har påvirket fornybar minst. Fornybar, som eneste energikilde, ser ut til å oppleve produksjonsvekst også i 2020 på tross av pandemien. Riktignok lavere enn forventet før virusutbruddet.



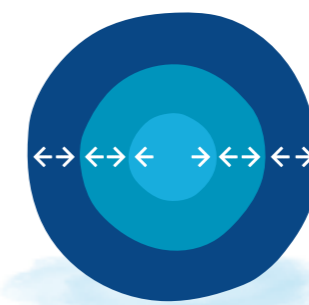
I Lavutslippsscenarioet øker kapasiteten i kraftsektoren globalt tre ganger fra i dag til 2050. Hele økningen, og mer til, dekkes av fornybar kraft (GW). Solkraft er den største kilden til kraftproduksjon fra 2035.



De stadig lavere kostnadene for fornybar energi gjør at det å utnytte denne energien i andre sektorer er kostnadseffektive klimatiltak. Elektrifisering gir betydelige utslippskutt innen både bygg, industri og transport.



Utslippsfritt hydrogen i ulike former (inkludert ammoniakk) får en økende rolle der det er utfordrende å benytte elektrisitet direkte.



Framtidens energisystem vil være tett knyttet sammen i et komplekst samspill: elektrisitet og utslippsfritt hydrogen i ulike former vil være i sentrum, og dynamikken mellom de ulike sektorene blir viktig.



Høye andeler variabel fornybar kraftproduksjon forutsetter tilstrekkelig fleksibilitet for å balansere kraftsystemet og unngå store kraftprisvariasjoner. Batterier, fleksibel etterspørsel og fleksibel hydrogenproduksjon er alternativer under utvikling. I dag er regulerbar vannkraft det eneste fornybaralternativet – der det er tilgjengelig – som gir fleksibilitet både innen kort og lang horisont til en akseptabel kostnad.

Statkrafts Lavutslippsscenario er utarbeidet av Statkraft sitt strategiske analyseteam i samarbeid med eksperter i andre forretningsområder. Over 50 kollegaer er involvert i markedsanalyse i Statkraft. En oversikt over nøkkelparametre og forutsetninger i Lavutslippsscenarioet finnes i Anneks, side 56.

ENERGIOMSTILLING I EN VERDEN MED ØKT USIKKERHET

Covid-19-pandemien har satt verden på pause. Vi reiser mindre og forbruker mindre. Pandemien har truffet fossil energi hardest. Fornybare energikilder er de eneste som opplever produksjonsvekst i 2020.

2019 var det første året på flere tiår hvor krafttetterspørselen økte i verden, mens den fossile kraftproduksjonen falt. 2019 var også det første året der kjernekraft og fornybar energi til sammen produserte like mye av verdens elektrisitet som kullkraft.

Så kom 2020 og Covid-19-pandemien. Smittevernstiltakene satte verden på pause. Utfallet så langt er oppsiktsvekkende: Fornybar energi, som eneste energikilder, fortsetter å oppleve produksjonsvekst.

Økt usikkerhet

Samtidig har usikkerheten i den globale økonomien økt dramatisk. Hvordan verden håndterer Covid-19-pandemien, og hvordan økonomiene gjenåpnes, vil påvirke den globale energiverdenen i lang tid framover. Et grunnleggende spørsmål for energiomstillingen er om farten i den grønne omstillingen styrkes eller svekkes som følge av pandemien.

I en tid med høy usikkerhet er det enda mer aktuelt med framtids-scenarier for å gi økt innsikt og et godt underlag for beslutninger. For femte år på rad presenterer Statkraft sitt Lavutslippsscenario. Som tidligere år forutsetter Lavutslippsscenarioet en realistisk, men optimistisk forsterkning og videreføring av dagens trender innen fornybare og grønne teknologier fram mot 2050*. Scenarioet legger til grunn at det globale arbeidet med å løse klimakrisen fortsetter etter Covid-19-pandemien. I scenarioet vil politikk og virkemidler legge til rette for, og ikke hindre, en global energiomstilling. Vi legger til grunn en tilstrekkelig mobilisering av privat kapital. Dette betyr at marked, teknologi og politikk i hovedtrekk drar i samme retning.

Solkraft størst fra 2035

I årets Lavutslippsscenario tar vi høyde for lavere økonomisk vekst som følge av Covid-19-pandemien. Dette, kombinert med betydelig elektrifisering og energieffektivisering, gjør at vi i 2050 ender med energietterspørsel på samme nivå som i dag**. Vi ser at i land med gode sol- eller vindressurser vil det allerede i dag lønne seg å installere ny fornybarkapasitet heller enn ny fossil kapasitet. I økende grad vil ny sol- og vindkraft også utkonkurrere eksisterende kull- eller gasskraft. Solkraft blir den største kraftproduserende teknologien globalt allerede fra 2035. Vi ender opp med et omstilt globalt energisystem der sektorene er tett integrert gjennom elektrisitet og utslippsfritt hydrogen. Det blir en lavere etterspørsel etter kull og olje, og en gassetterspørsel som flater ut for deretter å avta mot slutten av perioden. I år som i fjor ender vi opp med globale energirelaterte CO₂-utslipp i Lavutslippsscenarioet som er i tråd med en 2-gradersbane.

Hva kan hindre omstilling?

Etter at USA valgte å trekke seg ut av Parisavtalen har EU stått for en stor del av momentumet i den globale klimapolitikken. EU setter ambisiøse klimamål og viser vilje til å gjennomføre en politikk som gjør at målene kan bli nådd gjennom sin vekststrategi "European Green Deal". Dette er understøttet av arbeidet med å etablere gode, integrerte energimarkeder de siste årene.

I fjor gjorde vi et dybdykk i hva som skal til for at energirelaterte utslipp følger en 1,5-gradersbane. I år har vi analysert hvilke konsekvenser det kan ha for omstillingen dersom Europa møter på ulike barrierer, og hvilke alternative løsninger som finnes hvis Europa skal opprettholde klimaambisjonene. Vi ser at valg av mål og virkemidler vil påvirke tempo og kostnader ved omstillingen. Analysene viser at selv om vi legger betydelig lavere vekst til grunn, og selv med ulike barrierer mot energiomstillingen, vil vi fortsatt se en betydelig vekst i fornybar energi i Europa og globalt, samt en sterk satsing på elektrifisering og utslippsfritt hydrogen.

*Lavutslippsscenarioet tar utgangspunkt i kjente teknologier og bygger på Statkrafts egne globale og regionale analyser. Analysene er basert på interne modeller i tillegg til dybdestudier av eksterne kilder. Scenarioet baserer seg ikke på en lineær framskriving av dagens trender og tar heller ikke utgangspunkt i et bestemt klimamål for så å analysere seg bakover.

**Her refereres det til primærenergi som er mengden utvunnet energi før energitap som følge av konvertering, transport og foredling av energien fram til energi i sluttbruk. Se utdypende forklaring i faktaboks 6 i rapporten.

1

ENERGIVERDEN I ENDRING

ENERGIVERDEN I ENDRING

Når vi nå står ved begynnelsen av et nytt tiår, er det naturlig å løfte blikket og prøve å se de lange linjene. Klimaendringer treffer hardere og raskere enn de fleste har forventet. Det er mer ekstremvær, oppvarmingen av havet skjer raskere og havnivået stiger. De synlige klimaendringene gjør det enklere å oppnå politisk oppslutning om at en global energiomlegging er nødvendig. Samtidig har lokal motstand mot klimatiltak gitt ny forståelse for hvor viktig det er at fordelingen av kostnader og gevinster ved klimaomlegging oppleves som rettferdig – mellom regioner, land og befolkningsgrupper. I dette kapittelet ser vi på hva det siste tiårets internasjonale klimaforhandlinger har resultert i, og hvordan Europa har tatt på seg en lederrolle i klimaomstillingen også nå under Covid-19-pandemien.

I denne delen av rapporten tar vi et lite tilbakeblikk på klima- og energitrendene i årene som har gått. Neste del strekker noen av disse klima- og energitrendene ut til 2050 i Statkrafts Lavutslippsscenario. Siste del av rapporten tar et dypdykk i Europa mot 2050 og diskuterer hva som kan svekke eller styrke farten og retningen som legges til grunn i Lavutslippsscenarioet.

Klima ble rangert som en av de største globale risikofaktorene både i sannsynlighet og konsekvens i 2020 før Covid-19-pandemien traff verden med et sjokk¹. Både klima- og Covid-19-krisen har noen felles kjennetegn; det haster å løse dem, de er globale kriser som i stor grad må håndteres regionalt, de er komplekse med uoverskuelige konsekvenser og de er vanskelig å avgrense i tid eller rom².

Som en konsekvens av Covid-19-krisen forventer nå IMF en nedgang i verdensøkonomien på 4,9 prosent fra 2019 til 2020. Det er den dypeste økonomiske krisen siden andre verdenskrig. Krisen forventes å treffe hardest i Europa, Amerika og Sentral-Asia, og særlig i land med høy avhengighet av globale varer, finansmarkeder og turisme. Pandemien forventes å føre millioner av mennesker tilbake til fattigdom³. Utbredelsen og håndteringen av pandemien, både helsemessig og økonomisk, vil påvirke verdenssamfunnet og energimarkedene i lang tid framover og kan gjøre 2020 og tiden framover til et globalt vippepunkt. Mot et bakteppe av økte politiske spenninger og lavere økonomisk vekst er den globale maktbalansen i rask endring. Verdens økonomiske tyngdepunkt flyttes gradvis i retning Asia. Med større økonomiske muskler kommer også krav om økt politisk innflytelse og vi ser en økt rivalisering mellom USA og Kina. Pandemien og politiske spenninger vil få innvirkning på den globale energiverdenen.

Kunnskapen rundt klimaendringene blir bedre mens konsekvensene blir synligere

De menneskeskapte klimagassutslippene fortsetter å øke. Konsekvensene av klimaendringene blir mer synlige. Covid-19-pandemien med resulterende lavere økonomisk vekst og energiletterspørsel setter CO₂-utslippene fra fossil energi på en midlertidig pause.

Samtidig som klimaendringene er blitt synligere og voldsommere de siste ti årene, får vi stadig ny kunnskap rundt sammenhengen mellom menneskeskapte utslipp og klimaendringer. I 2019 publiserte FN's klimapanel to spesialrapporter med ny innsikt rundt landarealer, hav og is⁴. Den nye kunnskapen viser at:

- Skogbruk, jordbruk og arealbruksendringer har bidratt med rundt 23 prosent av de menneskeskapte klimagassutslippene siden 2007
- I tillegg skjer oppvarming av havet nå dobbelt så raskt som for 25 år siden
- De siste fem årene har vært de varmeste siden målingene begynte, og hvert tiår siden 1980 har vært varmere enn alle tidligere tiår siden 1850
- Etter 2009 har havet absorbert rundt en fjerdedel av de årlige CO₂-utslippene og dermed begrenset økningen av CO₂ i atmosfæren. Imidlertid vil økt mengde CO₂ i havet redusere pH-verdien som gjør havet surere. Havnivået fortsetter å stige i akselererende fart og nådde sitt høyeste nivå i 2019 siden 1993. Dette skyldes både økt ismelting og at havet utvider seg med økt temperatur⁵
- I Barentshavet er isdekket halvert de siste 40 årene og Grønland, Antarktis og andre isbreer har tapt over 650 gigatonn is per år siden 2006⁶. Det årlige is-tapet gir et volum tilsvarende 670 000 ganger Empire State Building i New York eller 1 million ganger Telenor Arena i Oslo.

650

verdens isbreer har tapt over 650 gigatonn is per år siden 2006

7

7 millioner mennesker dør av luftforurensning hvert år

1/4

havet har absorbert rundt 1/4 av de årlige CO₂-utslippene siden 2009

EKSTREMVÆR, ISSMELTING OG SURERE HAV

ØKT MENGDE CO₂ I HAVET

Økt mengde CO₂ i havet reduserer pH-verdien og gjør havet surere. Havnivået fortsetter å stige i akselererende fart og nådde sitt høyeste nivå i 2019 siden 1993. Dette skyldes både økt ismelting og at havet utvider seg med økt temperatur.

SYKLONEN IDAI

Traff Sørøst Afrika våren 2019. Mellom januar og juni 2019 ble mer enn 6,7 millioner mennesker evakuert på grunn av ekstremvær.



670 000 GANGER EMPIRE STATE BUILDING

Grønland, Antarktis og andre isbreer har tapt over 650 gigatonn is per år siden 2006. Det årlige is-tapet gir et volum tilsvarende 670 000 ganger Empire State Building i New York.





Ekstremvær kommer oftere og kraftigere og bringer med seg store skader⁷:

- I 2019 ble mer enn 6,7 millioner mennesker evakuert på grunn av ekstremvær bare mellom januar og juni
- Varmerekorder ble satt i Australia, India, Japan og Europa. To varmebølger traff Europa sommeren 2019 og resulterte i over 4000 døde
- Orkanen Dorian traff Bahamas og Nord-Amerika høsten 2019 med skade for over 3,4 milliarder US dollar.

Urovekkende nok fortsetter de menneskeskapte klimagassutslippene å øke parallelt med at konsekvensene blir synligere. De energirelaterte CO₂-utslippene har økt hvert tiår fra under 12 gigatonn i året på 1960-tallet til nesten 35 gigatonn per år for perioden 2009-2018 (figur 1)^{8,9}. 2020 står i en særstilling der vi forventer fallende utslipp som konsekvens av Covid-19-pandemien. Erfaring fra tidligere kriser viser at en nedgang i CO₂-utslipp på grunn av pandemien kan være et midlertidig fenomen som erstattes med en oppgang dersom det ikke skjer permanente strukturelle endringer i samfunnet¹⁰.

I tillegg til klimagassutslipp er lokal luftforurensning et økende problem. Globalt dør rundt 7 millioner mennesker av luftforurensning hvert år¹¹. Samtidig mangler fortsatt 840 millioner mennesker tilgang på elektrisitet og 2,6 milliarder mennesker tilgang på ren matlaging¹².

Fra København til Paris til Glasgow: Et nytt tiår med klimaforhandlinger

Siden 2000-tallet har vi vært gjennom to tiår med klimaforhandlinger. 2020 er et avgjørende skille: i år iverksettes Parisavtalen der 188 land har forpliktet seg til nasjonale klimamål.

En global krise løses best med globalt samarbeid der internasjonale forhandlinger er en viktig arena. Et konkret resultat av klimaforhandlingene er Parisavtalen som iverksettes fra i år. Dette gjør 2020 til et historisk viktig år.

Starten av tiåret bar preg av at klimatoppmøtet i København i 2009 ikke lyktes med å innfri forventningene. I mangel av en ny bindende internasjonal avtale ble det i 2012 enighet om å forlenge Kyoto-avtalen fram til 2020. Et vendepunkt kom i 2015 da det ble bred enighet om Parisavtalen og per i dag har 189 land ratifisert avtalen¹⁴. Avtalen inneholder flere viktige vedtak,

blant annet at landene skal jobbe for å begrense oppvarmingen til godt under 2 grader og ned mot 1,5 grader. Med Parisavtalen fikk også alle landene nasjonale klimamål, mens det under Kyotoprotokollen kun var 34 land som var forpliktet til å begrense sine utslipp. I etterkant har USA vedtatt å trekke seg fra Parisavtalen, noe som iverksettes tidligst den 4. november 2020. Ingen av de andre 188 landene har valgt å følge USA ut av avtalen. Den 3. november 2020 er det presidentvalg i USA. Utfallet av valget vil kunne ha stor påvirkning på veien videre for den globale klimapolitikken. De to kandidatene er klare motpoler både i syn på klimapolitikk og i syn på internasjonalt samarbeid. Dersom demokratene vinner valget, forventes en klar forsterkning av amerikansk klimapolitikk nasjonalt, og med mulighet for å ta USA inn igjen i Parisavtalen. Et skifte i USA vil derfor kunne ha stor betydning for hastigheten i den globale energiomstillingen.

På grunn av Covid-19-pandemien ble det praktisk vanskelig med store samlinger av mennesker og årets klimatoppmøte i Glasgow ble derfor utsatt til høsten 2021. Noen områder av Parisavtalen er fremdeles under forhandling, blant annet regler for hvordan land kan samarbeide for å nå klimamål, og bruk av markeds mekanismer og kvotehandling. I løpet av 2020 skal alle landene oppdatere og forsterke målene og hvert femte år skal det evalueres om landene har nådd målene de satte i forrige runde. Hvordan denne femårsforsterkningsmekanismen virker vil være avgjørende for om Parisavtalen blir effektiv og om verden lykkes med å begrense oppvarmingen til godt under 2 grader.

Europa fortsetter med klima høyt på dagsorden

EU har tatt på seg en lederrolle i den globale klimapolitikken og tar sektorer som bygg, industri, transport og landbruk i økende grad inn i sin vekststrategi «European Green Deal». Målet er netto null klimagassutslipp innen 2050.

De internasjonale klimaforhandlingene og Parisavtalen har vært viktige premisser for den europeiske klima- og energipolitikken det siste tiåret. I forkant av Københavntoppmøtet i 2009 vedtok EU sitt 20 % klimamål for 2020 (fra 1990-nivå) og allerede i 2018 ble klimamålet nådd. I forkant av Paristoppmøtet i 2015 vedtok EU klimamålet på 40 % utslippskutt for 2030 (fra 1990). Parisavtalens mål og mekanismer, sammen med press fra opinion og miljøpartier, har bidratt til at EU har utviklet en langsiktig klimastrategi med mål om netto null utslipp innen 2050.

840

millioner mennesker mangler tilgang på elektrisitet

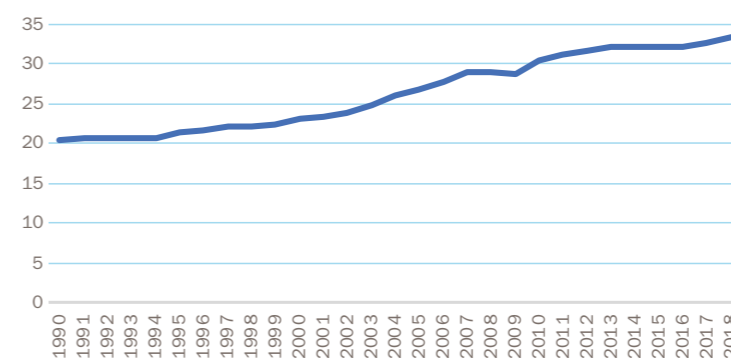
188

land har forpliktet seg til Parisavtalen som iverksettes i år

30 %

av EUs langtidsbudsjett- og krisepakke på til sammen 1824 mrd Euro skal 30 % øremerkes klimatiltak

1 Energirelaterte CO₂-utslipp globalt siden 1900 ¹³



Skal EU lykkes med raskere og dypere utslippskutt må klimapolitikken i enda større grad flyttes inn i nye sektorer som bygg, industri, transport og landbruk. Dette vises tydelig i EU-kommisjonens forslag til ny vekststrategi, «European Green Deal»¹⁵.

«European Green Deal» består av en blanding av økte ambisjoner og nye tiltak. I kjernen av strategien er et mål om at EU skal være klimanøytral innen 2050 og et forslag om å heve 2030-målet fra 40 prosent utslippskutt til minst 50 eller 55 prosent. Dette målet setter retning for alle de andre initiativene i strategien.

En omstilling til en økonomi med null utslipp i 2050 vil kreve dyptgripende endringer i hele samfunnet. «European Green Deal» er derfor langt mer omfattende enn tidligere klimaforslag fra EU-kommisjonen og den går inn i alle deler av økonomien og dekker svært mange politikkområder. Styrken til vekststrategien er at den kombinerer en forsterkning av gode markeds løsninger med en strategisk industriell satsing og en forpliktelse til en sosial rettferdig omstilling.

Dette konkretiseres ved at EU-kommisjonen bringer med seg en fornyet industripolitikk, sammen med en plan for sirkulærøkonomi, en reform av landbrukspolitikken, et fond for rettferdig omstilling, et forslag til en forsterkning av kvotehandlingssystemet, samt endringer i energibeskatningen. Med en slik helhetlig tilnærming håper Kommisjonen å muliggjøre en raskere omstilling som er både økonomisk og sosialt bærekraftig.

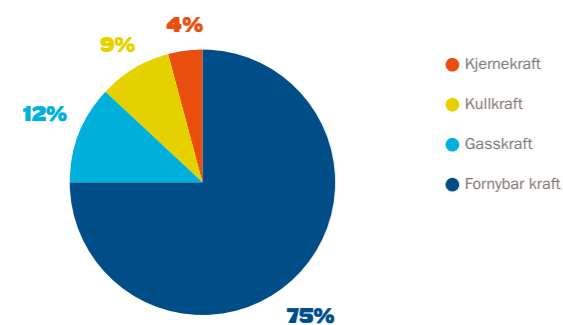
• Som et initiativ i vekststrategien lanserte EU-kommisjonen i mars 2020 et forslag til historiens første europeiske klimalov. Dersom loven blir vedtatt, kan dette skape økt forutsigbarhet rundt de europeiske klimaambisjonene mot 2050

• Et forslag som er mye diskutert er å innføre en karbonskatt. En slik mekanisme skal bidra til å begrense risikoen for at europeisk industri blir utkonkurrert som følge av strengere klimakrav. Ut over at et slikt tiltak må være forenlig med WTOs retningslinjer, er det ennå uklart hvordan mekanismen vil kunne se ut. Reaksjonene i EU så langt strekker seg fra et håp om at dette kan åpne for styrket karbonprising internasjonalt og kraftigere klimapolitiske virkemidler, til bekymring for at dette kan føre til handelskonflikter og svekke europeisk eksportindustri

• Med økende andel fornybar energi i kraftmiksen blir en stadig viktigere del av klimapolitikken å ta den fornybare kraften i bruk i nye sektorer. I juli 2020 la Kommisjonen fram en strategi for sektorkobling for å få en smartere energibruk på tvers av sektorer. Det viktigste virkemiddelet er å elektrifisere en størst mulig del av energibruken og erstatte fossil energi med fornybar kraft. Både i bygninger, industri og i transportsektoren er det stort potensial for elektrifisering. I tillegg er det fokus på utslippsfritt hydrogen som en viktig energibærer for bruksområder som vanskelig kan elektrifiseres

• Det viktigste klimapolitiske tiltaket i EU vil fortsatt være det europeiske kvotemarkedet. Med mer ambisiøse klimamål blir et ytterligere styrket kvotemarked viktig for å sikre en kostnadseffektiv omstilling. «European Green Deal» fortsetter dermed å kombinere ambisiøse klimamål med velfungerende markeder. I tillegg kan en styrking av kvotemarkedet være en måte å få inn ekstra inntekter til staten i land som sliter med høy statsgjeld. Som en del av «European Green Deal» blir det også vurdert om kvotemarkedet skal utvides til flere sektorer som transport og oppvarming av bygg.

Med nedstenging av økonomien som følge av Covid-19-krisen ble det en nedgang i bruttonasjonalprodukt for eurosonen på -12 prosent i andre kvartal 2020¹⁶. På kort sikt har det ført til at enkelte av de strategiske planene har blitt utsatt. Samtidig argumenterer mange for at det er enklere å gjennomføre «European Green Deal» ved å gi krisepakker i EU og medlemslandene et grønt fokus – noe som kan bidra til at det blir lettere å nå målene framover i tid. For første gang i EUs historie er det foreslått å ta opp felles gjeld, og etter lange forhandlinger i juli 2020 ble medlemslandene enige om en budsjett- og krisepakke der 30 prosent av totalsummene øremerkes til klimatiltak (henholdsvis 1074 og 750 milliarder euro)¹⁷. I land som Frankrike og Tyskland brukes krisepakkene blant annet for å omstille bilindustrien i en grønnere retning. Dette er eksempler på tiltak som kan akselerere energiomstillingen.

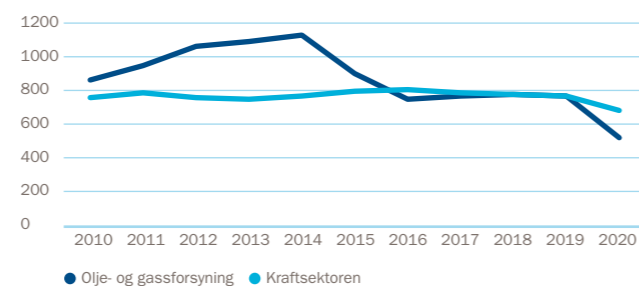
2 Globale investeringer i ny kraftproduksjon 2019¹⁸

Investeringene flytter fra fossil til fornybar energi

Finansmarkedet har vokst fram som en viktig pådriver i energiomstillingen. De siste ti årene har enorme investeringer i ny fornybar-teknologi bidratt til en firedobling av installert kapasitet for vindkraft mens solkraft har økt hele 27 ganger.

Med økende forståelse for klimaendringer og klimarisiko og implikasjonene for investeringer og lønnsomhet, har finansmarkedet vokst fram som en viktig driver av energiomstillingen. Siden 2015 har investeringer i kraftsektoren globalt ligget over eller likt med investeringer i olje- og gassforsyning. 2 600 milliarder USD investeringer i nye fornybarteknologier de siste ti årene har bidratt til en firedobling av installert kapasitet for vindkraft og hele 27 ganger økning for solkraft globalt¹⁹. I 2019 gikk tre fjerdedeler av alle investeringer i kraftsektoren til fornybar energi (figur 2). Selv med vekst i produksjon og installert kapasitet av fornybar kraft, har det store kostnadsfallet for sol- og vindkraft de siste årene gjort at summene som investeres i fornybar kraft har ligget ganske flatt i perioden. Trenden innen olje- og gassinvesteringer globalt har de siste årene vært synkende i følge IEA sine analyser, og med Covid-19 forventes de å bli langt lavere enn de globale investeringene i kraftsektoren i 2020 (figur 3)²⁰.

Med pandemien forventes det at investeringer i energi totalt kan komme til å falle med en femtedel i 2020 sammenlignet med året før. Hardest rammet er investeringer innen produksjon, omdanning og forsyning av fossil energi. Her er det olje- og gassektoren som tar det største fallet, med et estimert bortfall av nesten 250 milliarder dollar. Det tilsvarer en tredjedel av investeringsvolumet fra 2019. Kraftsektoren er rammet noe mindre, men også her er det ventet en nedgang på rundt 10 % i år som konsekvens av stengte samfunn og forstyrrelser i forsyningskjeder globalt. I 2019 ble 20 % av all ny solkapasitet bygget på tak av privatpersoner og små- og mellomstore bedrifter, en aktivitet som er bremsset betydelig våren 2020 med lavere energi- etterspørsel og presset økonomi. Vindkraft er ventet å komme noe bedre ut i 2020, særlig fordi en del støtteordninger forutsetter at vindparker kommer på nett innen utløpet av året, blant annet i Kina og USA. Det er observert noen forsinkelser i prosjektgjennomføring og investeringsbeslutninger også innen fornybar kraft i år, og prognosene er fremdeles usikre²¹.

3 Globale investeringer i energiforsyning (mrd USD) (2020-tall er foreløpige).²²

2019 var det første året der kjernekraft og fornybar energi sammen produserte like mye av verdens elektrisitet som kullkraft (TWh). Dette gjorde at 2019 ble det første året på flere tiår hvor fossil kraftproduksjon gikk ned uten at den globale kraftetterspørselen gjorde det samme²³.

Som følge av Covid-19 falt verdens elektrisitetsetterspørsel med 2,5 prosent i første kvartal av 2020 sammenlignet med 2019. Gjennom året kan forbruket komme til å falle med hele 5 prosent globalt, noe som i tilfelle vil være den største nedgangen siden børs-krisen i 1929. Kullkraftproduksjonen har tatt det største fallet og er ned 8 prosent. Dette skyldes også dagens rekordlave gasspriser som fører til at kjøring av gasskraftverk nå er mer lønnsomt enn å kjøre kullkraftverk i mange land. Fornybar energi går motsatt vei og har økt med 3 prosent i første kvartal. Det skyldes både at mye ny kapasitet ble ferdigstilt i 2019, og at fornybar kraft med lave marginalkostnader er det siste som tas av nettet når forbruket går ned. Resultatet er at fornybarandelen i kraftmiksen har økt betraktelig den siste tiden. Fornybar kraft, som eneste energikilder, ser dermed ut til å oppleve produksjonsvekst også i 2020 på tross av pandemien, riktignok lavere enn det som ble spådd før virusutbruddet²⁴. I Europa går denne trenden raskere enn i andre deler av verden. For den europeiske kraftmiksen økte fornybarproduksjonen med 11 prosent, samtidig som fossil kraftproduksjon falt med 18 prosent i første halvår av 2020. Dette resulterte i at CO₂-utslippene fra kraftsektoren falt med 23 prosent. Covid-19, stabile karbonpriser og lavere kraftetterspørsel var viktige årsaker²⁵. Dermed fortsetter trenden vi har observert de siste årene der fornybar kraft erstatter fossil kraft. Jevnt over har selskaper innen fornybar energi stått relativt stødig gjennom Covid-19-pandemien, mens olje- og gassektoren har falt betydelig i verdi sammenlignet med markedsindeksen S&P 500. En lignende trend viser seg også for selskaper som scorer høyt på bærekraft og samfunnsansvarskriterier²⁶.

-8%

kullkraft har falt med 8 % under Covid-19-pandemien

MER

fornybar kraftproduksjon går gradvis opp

MINDRE

fossil kraftproduksjon går gradvis ned

1

FINANSMARKEDET SOM DRIVER FOR BÆREKRAFTIGE INVESTERINGER

I januar i år vakte det oppsikt da BlackRock – verdens største kapitalforvalter – erklærte at bærekraft er selskapets nye standard for investeringer²⁷. Som følge av dette vil BlackRock trekke seg ut av selskaper med høy eksponering mot kullkraft i løpet av 2020. BlackRock er ikke alene om å mene at bærekraftighet er et viktig investeringskriterium. Rundt 25 prosent av alle fond i USA er nå basert på ulike krav om bærekraftige investeringer. Også i resten av verden sees samme trend, og særlig såkalte ESG-investeringer har fått et kraftig oppsving*.

Der fokus på bærekraft tidligere ble sett på kun som en kostnad for selskaper, har det vært et fundamentalt skifte de siste årene mot at bærekraft kan øke verdien av selskapene. Verdien vil særlig kunne øke innen tre hovedområder: Selskapene vil kunne tiltrekke seg attraktiv og motivert arbeidskraft, de vil være attraktive for forbrukere som tar en aktiv stilling til produktene og tjenestene de kjøper, og selskapene vil kunne stå overfor mindre klimarisiko enn andre sammenlignbare selskaper.

Med det økte fokuset på grønne og bærekraftige investeringer har det materialisert seg et behov for å definere hva som menes med ordene som brukes. Det jobbes med klassifiseringssystem på mange fronter, også under ISO-standarder.

EU vedtok i april i år en forordning for taksonomi for bærekraftig finans som inneholder regler for et nytt klassifiseringssystem. Taksonomien setter opp spesifikke kriterier for hver teknologi og definerer hva som er bærekraftige og ikke-bærekraftige investeringer. Forordningen setter også krav til hvordan klimagassutslipp og klimafotavtrykk måles og rapporteres.

Klassifiseringssystemet er en del av EUs handlingsplan for bærekraftig finans som ble lansert i 2018. For å klassifisere en investering som bærekraftig må den gi et vesentlig bidrag til minst ett av seks miljømål uten å vesentlig svekke noen av de andre. Hensikten er at taksonomien skal bidra til finansieringen av den grønne omstillingen i Europa. I løpet av 2021 må finansbransjen og børsnoterte selskaper i Europa rapportere hvor stor andel av deres fond, porteføljer eller investeringer som er bærekraftige i henhold til klassifiseringssystemet. Taksonomien vil påvirke investeringer i Europa framover på flere måter, bl.a. forventes det at en betydelig del av EUs krisepakke etter Covid-19-pandemien deles ut til aktører som investerer bærekraftig i henhold til klassifiseringen. Trolig vil taksonomien også i økende grad brukes som betingelse for andre EU-lån og -støtteordninger, samt for nasjonale ordninger, benchmarking og potensielt for rating av selskaper. En felles taksonomi gjør det også lettere for kunder og interessenter å sette krav og å velge de mer bærekraftige aktørene i forhold til konkurrentene. EUs nye klassifiseringssystem forventes dermed å bli en viktig driver for å flytte mer kapital over på grønne og klimavennlige teknologier i Europa og på den måten øke farten i omstillingen mot klimanøytralitet i 2050. Hvor avgjørende denne effekten blir, gjenstår å se²⁸.

* ESG = Environment, Social and Governance (miljø, samfunnsansvar og selskapsstyring).



Rettførdig klimaomstilling: Ulikt utgangspunkt

Klimatiltak har de siste årene støtt på ulike interessekonflikter i flere land: Motstand mot vindkraftutbygging, bompengebetaling, høye bensinpriser og opprør rundt kollektivtransport. Energiomstillingen skaper muligheter, men også ulemper for folk. Tiltak som gjør det trangere økonomisk eller treffer de svakest i samfunnet hardere, skaper motstand lokalt.

Klimakrisen er global, men omstillingen i energisektoren må i stor grad skje regionalt og lokalt. Løsninger og prioriteringer vil variere mellom land og regioner, mens både internasjonalt og regionalt samarbeid vil gjøre omstillingen lettere. Ifølge en kartlegging fra World Economic Forum har Norge kommet langt i forhold til andre land når det gjelder energiomstillingen. Kartleggingen (Energy Transition Index) måler både landenes energisystemer i dag, samt rammeverk og suksessparametre for en effektiv omstilling til et framtidig bærekraftig og kostnadseffektivt energisystem. Andre oljeproduserende land, som Nigeria og Venezuela, står overfor langt større utfordringer enn Norge, på grunn av ineffektive styresett kombinert med en oljeavhengig økonomi. Det gjør også land med stor kullavhengighet som Sør-Afrika og Mongolia. Generelt er mer konkurranseutsatte økonomier bedre posisjonert til å klare overgangen til et lavutslippssamfunn. Samtidig vil mange fattige land kunne gå rett på investeringer i fornybare og grønne teknologier og dermed unngå å låse inne en del fossil teknologi. For disse landene vil globale ordninger for teknologioverføring kunne øke farten i omstillingen²⁹.

En rettførdig fordeling av ansvar mellom land har vært et viktig prinsipp i de internasjonale klimaforhandlingene, der spesielle hensyn også skal tas for land som er særlig sårbare overfor klimaendringer. Prinsippet omtales som «felles, men differensiert ansvar». En rettførdig fordeling treffer også nasjonalt og lokalt. For å sikre bred støtte for klimatiltak, blir det viktig at fordelingen av både kostnader og gevinster ved omstillingen oppleves mest mulig rettførdig. Dette gjelder både mellom land, regioner, sektorer, aktører og sosiale lag. Hva som oppfattes som en rettførdig fordeling for folk flest kommer særlig til syne når klimapolitikken møter interessekonflikter. Synlige eksempler på interessekonflikter her i Norge de siste årene har vært relatert til vindkraftutbygging og bompenger i store norske byer. Vi har gule vester-oppørret i Frankrike og oppørret rundt kollektivtransport i Chile. Energiomstillingen skaper muligheter, men også ulemper for folk. Tiltak som gjør

det trangere økonomisk eller treffer de svakest i samfunnet hardere, skaper lett motstand. For å få til en rask nok omstilling må derfor løsningene som innføres ikke treffe for skjevt eller skape motstand i store deler av befolkningen og virkemiddelbruken må bidra til at omstillingskostnadene blir lavest mulig. Klimapolitikken griper dermed i enda større grad inn i folks arbeidsplasser og hverdag. Behovet for en rettførdig omstilling blir enda tydeligere og dette har blitt en sentral del av EUs nye vekststrategi («European Green Deal»). Fordeling av byrder og følelsen av urettferdighet må tas alvorlig og håndteres klokt dersom EU og verden skal klare en rask nok omstilling til lavutslippssamfunnet.

Det er et åpent spørsmål om folks villighet til omstilling blir svekket eller styrket av Covid-19-pandemien. Under krisen vil mange allerede ha opplevd økt belastning, som kan svekke viljen til videre omstilling. Det er i utgangspunktet sannsynlig at en langvarig resesjon vil svekke evnen og viljen til å påta seg nye kostnader eller belastning ved videre omstilling. I første omgang er myndigheter opptatt av å stabilisere økonomien på kort sikt. Mange land i Europa har allerede høy statsgjeld og svake statsfinanser. Dette har blitt forverret som følge av koronakrisen. På den andre siden kan bruk av krisepakker til grønn omstilling i kjølvannet av pandemien bidra til å øke farten i omstillingen. Som nevnt over har både Frankrike og Tyskland vedtatt krisepakker med en grønn profil. I Tyskland skal det blant annet brukes 8 milliarder euro på å støtte elbiler, 9 milliarder euro til å finansiere hydrogenstrategien og 2 milliarder euro til å energieffektivisere bygg. Frankrike skal også bruke 8 milliarder euro til å støtte kjøp av elbiler og de skal øke tempoet på utbygging av elbilladere³⁰.

Men selv om EU og enkelte land gir klare signaler om at grønn vekst blir prioritert, fortsetter land verden over å subsidiere fossil energi. G20-landene har hittil brukt 47 prosent av Covid-19 krisemidler for energi til fossil støtte, mens 37 prosent har gått til ren energi i følge en undersøkelse utført av energypolicytracker³¹.



CHILE

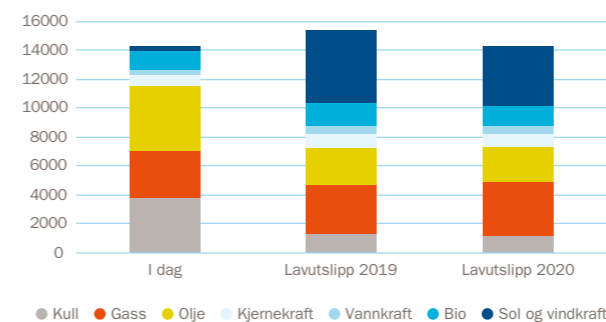
demonstranter tok til gatene i Santiago, Chile etter en øking i priser for kollektivtransport

2

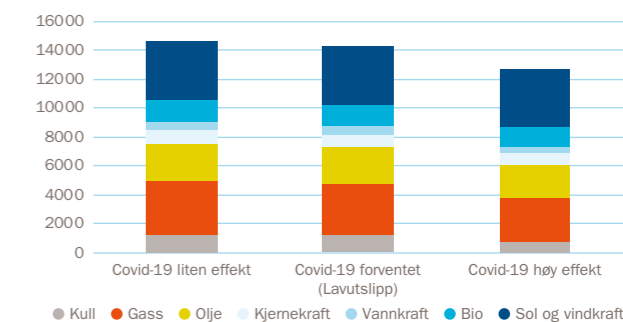
LAVUTSLIPPSCENARIET: EN FORNYBAR OG ELEKTRISK VERDEN

LAVUTSLIPPSSCENARIOET: EN FORNYBAR OG ELEKTRISK VERDEN

Global etterspørsel etter primærenergi i dag og i 2050 i Lavutslippsscenarioet (Mtoe).



Global etterspørsel etter primærenergi i 2050 ved ulike langtidseffekter av Covid-19-pandemien (Mtoe).



Statkrafts globale Lavutslippsscenario er et optimistisk, men realistisk scenario for en global energiomstilling fra i dag til 2050. Scenarioet forutsetter at politikk, marked og teknologi trekker i samme retning. I dette kapitlet ser vi nærmere på hvordan fornybar kraft, elektrifisering og utslippsfritt hydrogen fører til lavere klimagassutslipp, utflating av energibehovet og fall i kull-, olje- og gassetterspørsel fram mot 2050.

Drevet av fornybar energi blir den globale energiverden stadig grønnere. Samtidig er vi nå midt i en global helsekrise og skal løfte oss etter en av verdenshistoriens største nedstengninger.

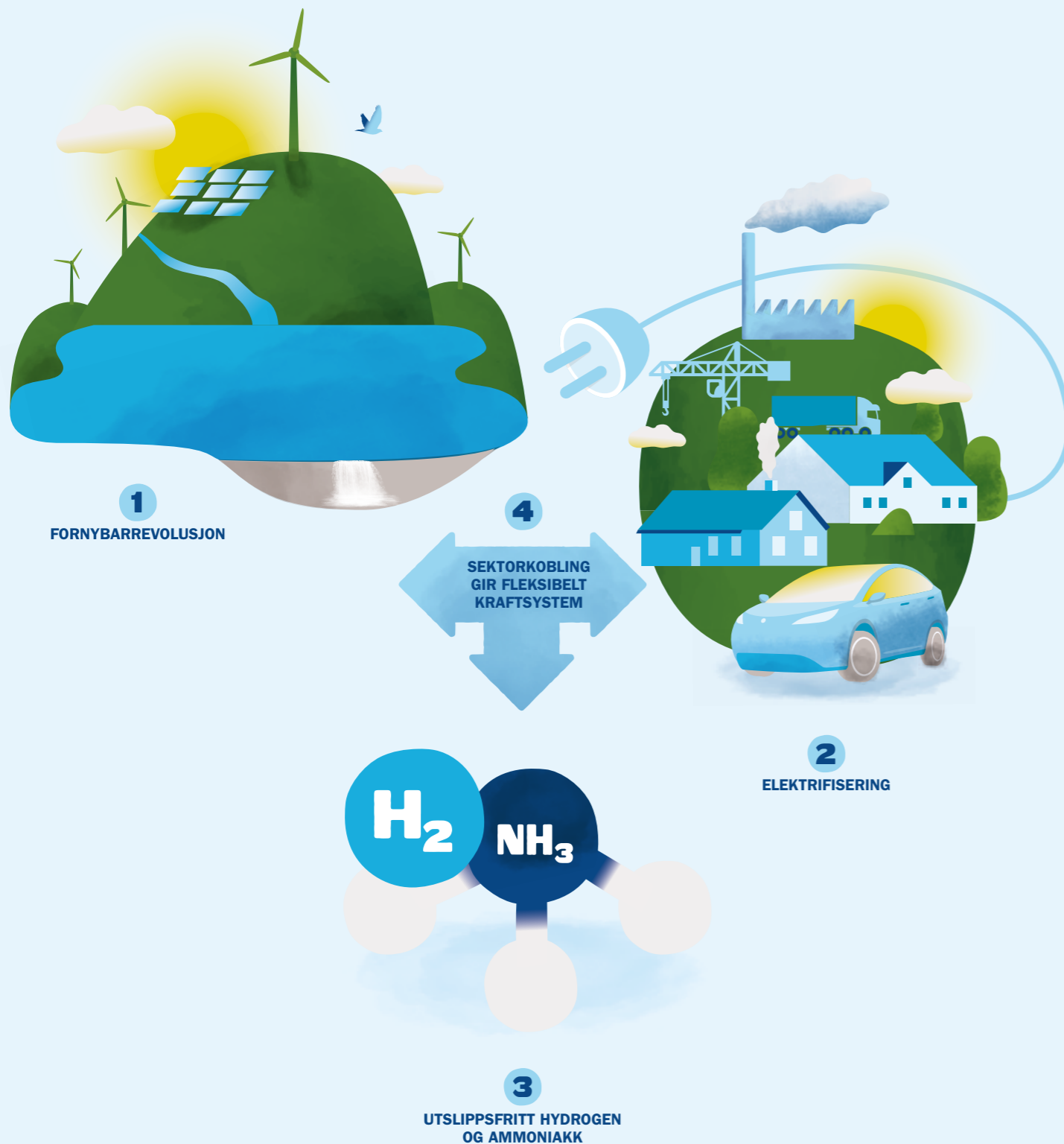
Covid-19-pandemien vil resultere i økonomisk tilbakegang i de fleste land i verden i år og forventes å få innvirkninger på økonomisk vekst og levestandard globalt over flere år. I Lavutslippsscenarioet har vi lagt til grunn at den globale økonomien vil være svekket i flere år etter pandemien, mens fokus på å løse klimakrisen fortsetter. Selv om vekstraten i økonomien kommer tilbake, forventes den globale økonomien og energietterspørselen å holde seg lavere over hele perioden sammenlignet med forventningene før Covid-19-pandemien. Fall i energibruk forventes å treffe hardest innen transport, industri og kommersielle bygninger i 2020, men over perioden mot 2050 får pandemien etter hvert mindre effekt. Vi får gradvis mer innslag av

energieffektivisering og elektrifisering som resulterer i en økt dekobling mellom behovet for primærenergi og økonomisk vekst. Lavutslippsscenarioet ender med likt nivå på etterspørsel etter primærenergi i 2050 som i dag (figur 4)*.

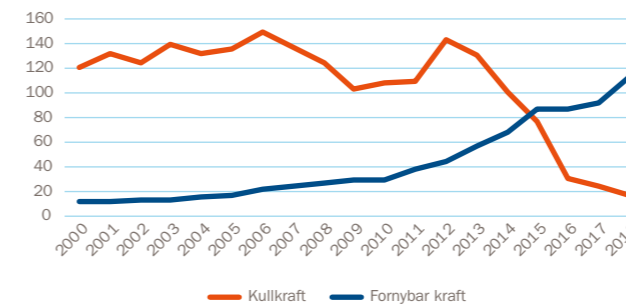
Hvor langvarig den økonomiske krisen blir og den langsiktige effekten på energietterspørselen, er det foreløpig ingen som vet. Det er mulig effekten av pandemien på energietterspørselen fram til 2050 blir minimal dersom den økonomiske krisen er kortvarig. I dette tilfellet forventes det at vaksinasjonsprogram utrulles raskt og verden kommer tilbake til en ny normal, veldig lik som før Covid-19 («Covid-19 liten effekt»). Som nevnt over, har vi i Lavutslippsscenarioet lagt til grunn at effekten på energietterspørselen blir signifikant de nærmeste årene, men deretter ikke veldig stor over tid («Covid-19 forventet»). Det er også mulig at den økonomiske krisen blir dypere og mer langvarig, med strukturelle endringer som redusert handel og mindre globalt samarbeid enn hva som er lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet. I dette tilfellet forventes etterspørselen etter primærenergi å falle betydelig over hele perioden («Covid-19 stor effekt») (figur 5).

*Lavutslippsscenarioet benytter IEA sin beregningsmetode. I primærenergi-beregninger antas da null tap for fornybar energi. Med en alternativ metode som antar omtrent likt tap for fossil og fornybar kraftproduksjon (38%), vil fossil energi dekke rundt 30% i 2050 istedenfor nesten 50% av primærenergien. Den absolutte mengden fossil energi er uendret for begge metodene (se faktaboks 6 for mer detaljer).

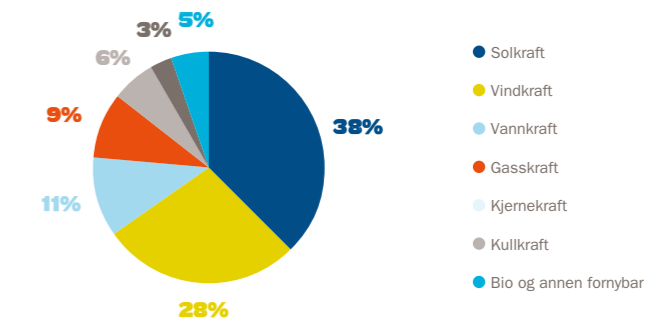
- 6 Lavutslippsscenarioet baserer seg på fire viktige hovedtrender som griper inn i hverandre og skaper en kraftfull dynamikk



- 7 Historisk kraftproduksjon i UK fra 2000 til 2018 (TWh per år)



- 8 Andel av kraftmiksen i 2050 per energikilde i % av produksjon (TWh)



Lavutslippsscenarioet baserer seg på fire viktige hovedtrender som griper inn i hverandre og skaper en kraftfull dynamikk – disse er presentert i nærmere detalj videre i dette kapittelet (figur 6).

- 1 Vi står for det første midt i en *fornybarrevolusjon*: kostnadsfall for fornybar kraft resulterer i økt fornybarvolum som resulterer i ytterligere kostnadsfall
- 2 Den andre trenden vi ser er at dette kostnadsfallet, sammen med kostnadsfall for batterier, gjør det stadig mer attraktivt å redusere utslipp gjennom direkte *elektrifisering* av transport, bygg og industri
- 3 For det tredje vil kostnadsfallet for fornybar kraft sammen med elektrolyse gjøre avkarbonisering gjennom bruk av *grønt hydrogen* og *ammoniakk* attraktivt for de områdene som vanskelig kan elektrifiseres direkte
- 4 For det fjerde vil økt *samspill mellom energi-sektorene* via smarte løsninger gi økt fleksibilitet til kraftsystemet som tilrettelegger for den økende andelen variabel fornybar kraft.

Til sammen vil disse fire trendene resultere i *lavere klimagassutslipp*, utflating av energibehovet og fall i kull-, olje- og gassetterspørsel.

For å få nok fart i denne dynamikken forutsettes det at politikk primært legger til rette for, heller enn å hindre, samspeillet mellom marked og teknologi. Kostnadsfallet i grønne teknologier vil igjen gjøre det enklere for politikere å øke klimaambisjonene og tilrettelegge for en omstilling i tråd med eller raskere enn Lavutslippsscenarioet. Den sterke gjensidige avhengigheten mellom land og regioner via globale verdikjeder har bygget seg kraftig opp de siste årene. Nå observeres tendenser til det motsatte. Mange land og bedrifter har erfart hvordan globale og komplekse verdikjeder kan gi økt sårbarhet for uforutsette situasjoner. Behovet for sikker forsyning og effektivisering kan gi insentiv for å flytte produksjonen nærmere sluttbruker til tross for at dette kan gi høyere kostnader. I Lavutslippsscenarioet forutsetter vi økt fokus på regionale verdikjeder, men fortsatt en betydelig global avhengighet og global handel av varer og tjenester knyttet til energiomstillingen.

Vi står midt i en fornybarrevolusjon: Sol- og vindkraft konkurrerer ut kull- og gasskraft

Det blir stadig billigere å installere fornybar kraft sammenlignet med fossil kraft. Etter hvert vil kostnadene for ny sol- og vindkraft falle så mye at de utkonkurrer kull- og gasskraftverk som allerede er bygget. Dette fører til en kraftfull dynamikk over hele verden. Fossil energi blir valgt bort til fordel for fornybar energi.

Flere av de største kraftsystemene i verden er i ferd med å avkarboniseres, og dette kan skje svært raskt. Norge er i en særstilling med et tilnærmet utslippsfritt kraftsystem. Der kull utgjorde 30-40 % av kraftforsyningen i Storbritannia for bare ti år siden, er andelen nå nede i 2 % (figur 7). Parallelt har vi sett en rask økning i fornybar kraftproduksjon³². Delvis forårsaket av Covid-19 og rekordlave gasspriser satte britene rekord i juni i år med to fulle måneder helt uten kullkraftproduksjonen. Dette er første gang siden den industrielle revolusjonen³³. Også i USA og EU observeres lignende trender. I USA falt kullkraftproduksjonen med 16 prosent i 2019, i EU falt kullkraftproduksjonen med 24 prosent i 2019 og hele 32 prosent første halvår av 2020³⁴.

I Lavutslippsscenarioet:

2,5%

vil elektrisitetsbehovet vokse i gjennomsnitt 2,5 prosent per år over perioden

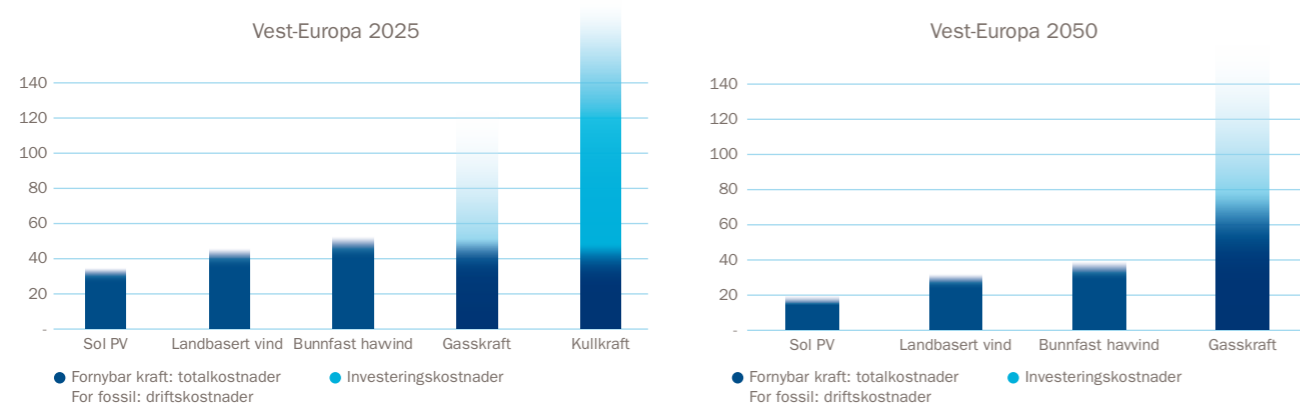


vil personbiler, busser, varebiler og to- og trehjulinger raskt elektrifiseres

-70%

ser vi mer enn 70 prosent reduksjon av batterikostnadene fram mot 2050

9 Gjennomsnittlig levetidskostnader for ulike kraftproduserende teknologier i 2025 (venstre) og 2050 (høyre) for Vest-Europa (EUR/MWh).



Endringene i energisystemene drives framover av det raske kostnadsfallet for sol- og vindkraft. De fleste steder i verden er det allerede i dag billigere å installere fornybar kraftproduksjon når ny kapasitet skal bygges. Sol- og vindkraft vil i økende grad også utkonkurrere kull- og gasskraftverk som allerede er bygget (figur 9). Det blir altså billigere å bygge ny fornybarkapasitet enn å betale for kull og gass som brensel til å kjøre eksisterende fossile kraftverk. Dette fører til en kraftfull dynamikk over hele verden der fossil energi utkonkurreres av fornybar energi. Verden står midt i en fornybarrevolusjon.

I Lavutslippsscenarioet øker kapasiteten i kraftsektoren globalt tre ganger fra i dag til 2050. Hele denne økningen, og mer til, dekkes av fornybar kraft (GW). Solkraftproduksjonen øker med 12 prosent per år i gjennomsnitt fra i dag, mens vindkraftproduksjonen øker med over 8 prosent per år. Vannkraft som teknologi har til forskjell fra sol- og vindkraft vært gjennom en industrialisering gjennom de siste hundre årene, og er den største fornybarkilden i dag med utbygd kapasitet på 1 290 GW globalt.

Virkningsgraden i store vannkraftanlegg er allerede høy (over 90 prosent) og det er ikke forventet samme kostnadsreduksjon som vi ser for sol- og vindkraft. Det er forventet at vannkraft vokser over perioden med en lavere fart, i gjennomsnitt 1,5 prosent per år*.

Som i fjorårets analyse vil solkraftproduksjon gå forbi både vindkraft, vannkraft, kullkraft og gasskraft og bli den største kraftkilden allerede fra rundt 2035. Dette skyldes først og fremst de lave kostnadene, men også at solparker er fleksible med hensyn til plassering og areal, samt at de er raske og enkle å bygge relativt til andre teknologier.

Vannkraft vil gå forbi kullkraft i 2040 og forbi gasskraft fem år senere. Vi ender opp med over 80 prosent fornybarandel i kraftproduksjonen i 2050 hvorav 66 prosent kommer fra variable kilder som sol- og vindkraft (figur 8 og 12).

De største kullandene i verden, som Kina, India og Indonesia, står i en særstilling. Kull er en integrert del av hele samfunnet i disse landene og lokale kullpriser er ofte regulerte og betydelig lavere enn de globale kullprisene. Her kreves det derfor en tydelig politisk vilje, spesielt de neste årene, som sammen med markedet kan drive omstillingen i tråd med Lavutslippsscenarioet. For flere detaljer rundt utfordringer knyttet til kullutfasing, se faktaboks 2.

Økende krav til fleksibilitet i kraftsystemene i verden: Høy andel solkraft endrer prisprofilene over dag og sesong

En stadig økende andel variabel kraftproduksjon endrer kraftsektoren globalt slik vi kjenner den i dag. Mens man tradisjonelt har hatt en fleksibel kraftproduksjon dekket av kull-, gass-, og på noen steder, vannkraft, vil kraftproduksjonen etter hvert bli mer priggitt sol og vind. Den høye andelen variabel sol- og vindkraft stiller økende krav til fleksibilitet i kraftsystemet.

Statkrafts analyser viser at kraftmarkedene kan håndtere den høye andelen variabel, fornybar kraftproduksjon som vi legger til grunn i Lavutslippsscenarioet**. Her finnes det løsninger. Innen *kraftproduksjon* bygges det ut økt fleksibilitet i eksisterende og nye kraftverk og det bygges ut kraftteknologier der produksjonsprofiler utfyller hverandre. Økt reguleringsevne i vannkraft (der det er tilgjengelig) vil være et av de økonomisk sett mest attraktive alternativene for å dekke de langsiktige fleksibilitetsbehovene. Vannkraftens rolle endrer seg fra ren kraftproduksjon til å bidra med fleksibel kraftproduksjon ved å på kort og lang sikt endre kjøremønstre for å tilpasse behov i kraftsystemet. Svært ofte ser vi også at det er kostnads-optimalt å bygge ut både sol- og vindkraft i kraftsystemer med høy variabel fornybarandel selv om en av disse teknologiene har best ressursgrunnlag i området. Dette skyldes at produksjonsprofilene er ulike som følge av at vinden ofte blåser på tidspunkt som komplementerer solinnstrålingen. Denne komplementeringen kan skje både innen et døgn, men også over lengre tidsrom og sesonger. I tillegg til økt fleksibilitet i kraftproduksjon, forventer vi at andre fleksibilitetsløsninger innen *etterspørsel* og *lagring* vil komme inn i markedet. Vi kommer tilbake til de ulike løsningene i avsnittet rundt sektorkobling og faktaboks 3 om hybridprosjekter senere i dette kapitlet.

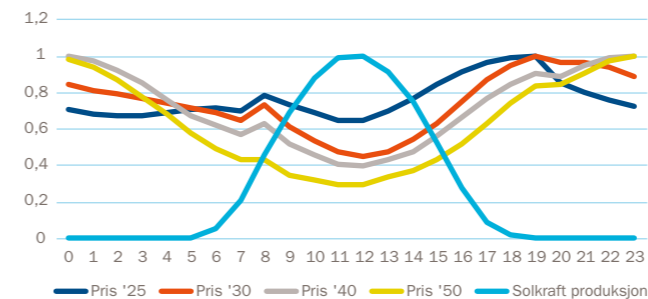
De ulike fleksibilitetsløsningene vil både bidra til å løfte de lave kraftprisene og dempe de høye prisene. Avhengig av hvor mye fleksibilitet som bygges inn i kraftsystemet, forventes likevel en betydelig endring i både døgn- og sesongprofilene i verden når det gjelder kraftpris og kraftproduksjon fram mot 2050. Dette er først og fremst drevet av den sentrale rollen solkraft får i kraftsystemet globalt (figur 10 og 11).

Det er ikke mulig i dag å si hva som vil være den optimale sammensetningen av de ulike fleksibilitetsløsningene i framtiden. Derfor blir det viktig at disse

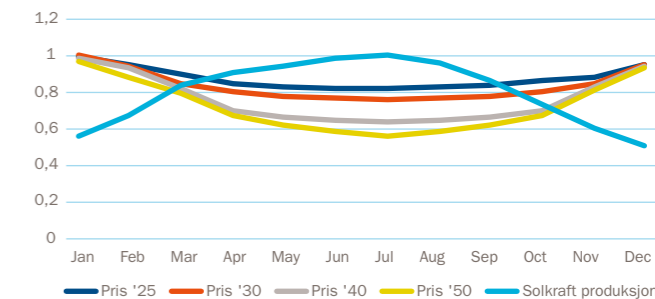
*Regulerbar vannkraft egner seg godt i fjellområder der det kan etableres magasin i eksisterende innsjøer, nærliggende bratte fall og med solid fjell for å bygge uten mye bruk av betong og fjellsikring. Det er begrenset med lokasjoner som kan tilby denne kombinasjonen.

**Statkraft modellerer kraftmarkedet i detalj, time for time, for Norden, Europa, India og land i Sør-Amerika fram mot 2050.

10 Økende døgnprofil for kraftprisen med økende andel solkraft i kraftsystemet (illustrasjon). Kraftprisen vises for årene 2025, 2040 og 2050 og solkraftproduksjon vises per GW.



11 Økende sesongprofil for kraftprisen med økende andel solkraft i kraftsystemet (illustrasjon). Kraftprisen vises for årene 2025, 2040 og 2050 og solkraftproduksjon vises per GW.



løsningene får konkurrere i markedet på lik linje, uten at enkeltløsninger reguleres inn særskilt. Det er i sannhet at det faktiske fleksibilitetsbehovet og verdien på fleksibilitet bestemmes. Denne verdien må derfor være synlig for både forbruker og produsent. En fast kraftpris over døgn vil eksempelvis ikke motivere forbruker til å flytte elektrisitetsforbruket sitt ved å lade elbilen eller varme opp varmtvannstanken sin i perioder på natten når den totale kraftetterspørselen er lavere³⁵.

Solkraft: Teknologien utvikles og utnyttelsesgraden øker

Det forventes kraftig vekst i solkraftkapasiteten globalt. Lavutslippsscenarioet anslår at kapasiteten blir 24 ganger så stor i 2050 som i dag (14 100 GW i 2050). Før pandemien var både Kina og Europa i en spennende omstilling vekk fra subsidierte installasjoner, og det forventes at denne veksten tar seg opp igjen i nær framtid.

Kostnadsfallet over perioden drives både av at markedet modnes og av en gradvis utvikling i solcelleteknologien. Både solcellepanel med tracking og tosidig solcellepanel (som produserer kraft fra begge sider av panelet) brukes i større grad for å maksimere kraftproduksjon fra solkraftanlegg. Tosidige solceller får et ekstra effektivitetsbidrag fra refleksjon av sollyset til baksiden. Denne typen solceller dekket omtrent 4 prosent av installert kapasitet i 2019. Tracking brukes for å justere solcellene etter solen, noe som gjør at mer direkte sollys kommer inn i solcellene. Det koster mer å installere og drifte trackers, men det øker utnyttelsesgraden av solkraften. Dette blir mer og mer vanlig etter hvert som kostnadene faller, og er allerede standard i solrike land.

For sentrale solkraftanlegg vil levetidskostnadene i stor grad avhenge av underliggende solressurs, ettersom investeringskostnadene globalt i utgangspunktet er relativt like. Men vi ser også at det er store lokale forskjeller. Leie av land, eiendomsskatt, kapitalkostnad, lokale lønnskostnader og auksjonsbetingelser er faktorer som avgjør lønnsomheten til de enkelte prosjektene. Ved så store volumøkninger som vi har lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet vil det også kunne bli ekstra kostnader for å balansere kraftsystemet. Her kan hybridprosjekter være en deløsning (faktaboks 3). Fordelen med solceller er at de er svært fleksible og kan installeres på tak, på innsjøer, langs veier og ikke minst over jordbruksareal. Sistnevnte kan komme til å bli viktig for å unngå å benytte matjord til energiproduksjon og for å minimere motstand mot utbygging.

Flytende solkraft på innsjøer, kanaler eller demninger er en relativt ny teknologi. Denne teknologien har stort potensiale i områder med begrensninger rundt bruk av landareal, vanskelig terreng eller der det er behov for å begrense fordampning fra vannet. Solcellemoduler blir montert på toppen av flytere som er forankret i bunnen av vannet. Denne teknologien skiller seg fra landbasert solkraft blant annet ved at design må tåle bevegelser i dårlig vær, i bølger og strømninger, samt at materialene må tåle større fuktighet. Flytende solkraft på vannkraftreservoarer kan bygges med reduserte kostnader fordi en kobling mot nettet allerede eksisterer.

2

OMSTILLING VEKK FRA KULL I KRAFTSEKTOREN ER KREVENDE FOR DE STORE KULL-LANDENE

Kull dekker per i dag 27 prosent av primær-energimiksen og 38 prosent av krafttettspørselen i verden. Kull brukes i hovedsak i kraft- og industri-sektoren. I Statkrafts Lavutslippsscenario faller etterspørselen etter kull globalt med gjennomsnittlig 3 prosent per år, og med over 5 prosent årlig i kraftsektoren fra i dag til 2050. I 2050 står kullkraft for 3 prosent av kraftproduksjonen globalt. Dette er en stor omstilling vekk fra kull. Samtidig vil fortsatt de store kull-landene i Asia ha en betydelig andel kull igjen i kraftmiksen sin, spesielt India og Kina.

Det finnes kommersielle og politiske drivere i noen regioner som kan forsinke omstillingen og føre til at utfasingen av kullkraftproduksjon går saktere. Dette er en av de største barrierene mot en omstilling i tråd med Lavutslippsscenarioet. De fleste gjenværende kullnasjonene har store nasjonale kullreserver der hele verdikjeden representerer arbeidsplasser. Ofte er kullindustrien konsentrert i områder med liten aktivitet i andre sektorer, slik at omstilling er svært krevende. Hensynet til kullindustrien og frykt for sosial og politisk uro er for noen land en sentral begrunnelse for saktere utfasing av kullkraft. Bruk av egne kullreserver sikrer også nasjonal energiavhengighet, noe som kan få økende betydning med pandemi og globale spenninger. Større grad av monopol og regulert kraftsektor i mange av disse landene kan også redusere konkurransedyktigheten til fornybare energikilder. Dette kan sammenfalle med et politisk ønske om å opprettholde en nasjonal kullindustri³⁶.

Kina og India er både de største kullforbrukerne og kullprodusentene i verden og sto for henholdsvis 50 og 13 prosent av den globale kulletterspørselen i 2018. I 2019 var det 17 land som åpnet nye

kullkraftverk. Gjennomsnittsalder på kullflåten er bare 18 år globalt. Levetiden til et kullkraftverk er rundt 40 år, så i land med rimeligere eget kull, kan kraftverkene som er bygget de siste ti årene potensielt fortsette å kjøre de neste 30 årene dersom de ikke forhindres av karbonpris eller reguleringer. Kina skal i år lansere sin neste femårsplan, gjeldende fra 2021, og utfasing av kull blir et viktig tema her. I den sammenheng er det diskutert å heve kapasitetstaket for kullkraft til 1 300 GW, noe som kan resultere i ny utbygging i Kina tilsvarende hele kullflåten i USA³⁷. Kinesiske selskaper er aktive innen utbygging av ny kullkraft også utenfor landets grenser. Store statsede selskaper er avhengig av eksport av kullrelaterte varer og tjenester. Stats-eide selskaper brukes til både prosjektering, bygging, forsikring og finansiering av kullkraftprosjekter i utlandet – gjerne på samme anlegg. Dette skaper tettere relasjoner til mottakerlandene.

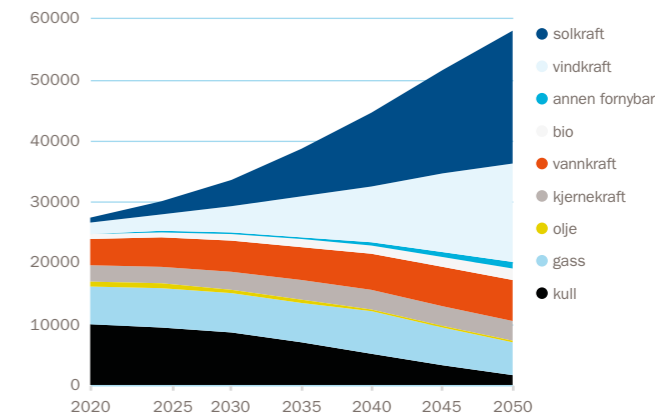
Det er dermed mye som står på spill for nasjonen, næringslivet og arbeidsplasser i de store kull-landene ved en rask utfasing av kullindustrien³⁸. Derfor kreves det en tydelig politisk vilje og støtte til omstillingen både nasjonalt og internasjonalt*.

*For en analyse av en senere utfasing av kull i Europa, se neste kapittel.

Solcellepanel over jordbruksanlegg.



12 Utviklingen i kraftsektoren fra i dag til 2050 (TWh) i Lavutslippsscenarioet



Vindkraft: Standardisering og turbinstørrelse driver utviklingen

Vindkraftkapasiteten i verden forventes å bli syv ganger større i 2050 og vil dermed bli den nest største kraftteknologien med 4 700 GW installert effekt i 2050.

Vindkraft står for nesten 30 prosent av verdens kraftproduksjon i 2050. I forhold til solindustrien er leverandørkjedene i vindsektoren mer regionalt basert i dag, særlig for havvind, og denne trenden forventes å fortsette over perioden. Trenden har bare blitt styrket av Covid-19. Kostnadsutviklingen drives i hovedsak av sterk konkurranse som presser fram standardisering av de viktigste komponentene. I tillegg er økt turbinstørrelse en viktig årsak til kostnadsreduksjoner. Etter 2030 kan 8 MW vindturbiner som er over 200 meter høye være vanlig på land. Selv om det ikke forventes radikale teknologiske gjennombrudd innen landbasert vindkraft over perioden, vil det komme flere forbedringer innen design, drift og vedlikehold. Digitalisering, bruk av kunstig intelligens og optimeringsalgoritmer vil sammen med energiforvaltning bli viktigere. Dette vil bidra til at produksjonen optimeres med tanke på både kraftpris, variable kostnader og levetid. I Norge og flere andre land har det de siste årene kommet en økende motstand mot vindkraft på land. Det viser hvor viktig det er med gode og transparente godkjenningssprosesser og lokal forankring av prosjekter (se kapittel 3 for mer detaljer).

Levetidskostnadene for vindkraftprosjekter varierer mye med lokasjon, blant annet underliggende vindressurs, avstand til kraftnett, anleggskostnader og kapitalkostnader, men også lokale lønnskostnader og lokal leverandørindustri får innflytelse. Etter hvert som vindkraft eksponeres mot kraftmarkedet, vil auksjonsbetingelser, kommersielle vilkår og underliggende kraftpris bli viktigere for lønnsomheten til prosjektene. Dette bidrar til større fokus rundt design av vindparken og driftsstrategi for å få en mest mulig markedsorientert produksjonsoptimering.

Utbygging av havvind globalt anslås å være moderat i forhold til landbasert vind. Dette skyldes i første rekke at kostnadene for landbasert vind generelt er forventet å være lavere enn for havvind. Likevel kan bunnfast havvind i noen land med gode havvindressurser snart konkurrere med landbasert vind. Dette ser vi for eksempel i Storbritannia. Også begrensninger på landarealer kan gjøre havvind interessant, særlig hvis ekstrakostnaden sammenlignet med landbasert vind er liten.

Energipotensialet er større og arealkonfliktene mindre enn for landbasert vindkraft. Dette gjør at vi forventer en økt havvindandel fram mot 2050. Hydrogenproduksjon ved hjelp av de relativt store kraftvolumene havvind kan tilby kan også representere en relevant mulighet for enkelte land.

Flytende havvind domineres fortsatt av pilotprosjekter i dag og er foreløpig langt dyrere enn bunnfast havvind. I de markedene hvor det er mulig å bygge bunnfast, forventes det derfor at man vil se mot denne teknologien først. Flytende havvind vil av denne årsaken primært være aktuelt i områder der potensialet for bunnfast havvind og andre fornybarteknologier er begrenset. Spesielt har flere land lite havareal som er egnet for faste installasjoner grunnet dybde eller bunnforhold, herunder Japan, Sør-Korea og deler av USA. På lengre sikt kan mangel på egnet farvann for bunnfast havvind også bli en faktor i deler av Europa. Utviklingen de neste tiårene vil i stor grad avhenge av industri- og klimapolitiske målsettinger i ulike land, og i hvilken grad denne teknologien blir subsidiert i en slik grad at kostnadene kan komme ned på et konkurransedyktig nivå. Det er derfor generelt stor usikkerhet knyttet til hvor mye kapasitet som vil realiseres, og hvilket kostnadsnivå som vil oppnås.

X24

solkraftkapasiteten blir 24 ganger så stor i 2050 som i dag og vindkraftkapasiteten blir syv ganger større

-5%

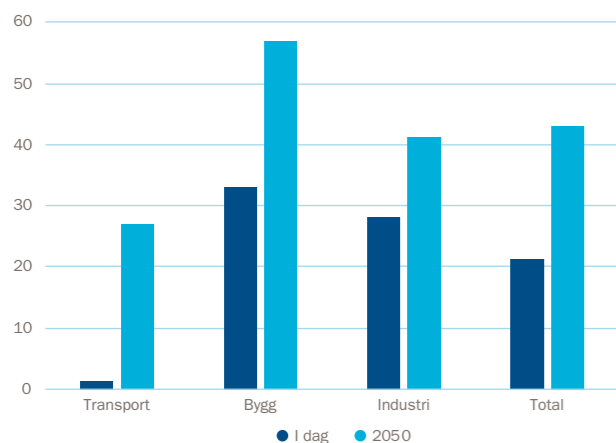
kulletterspørselen i kraftsektoren faller med over 5 prosent per år i gjennomsnitt fra i dag til 2050

An aerial photograph of a dense, lush green forest. The trees are packed closely together, creating a vibrant green canopy. In the top left corner, there is a bright sun flare that creates a lens flare effect across the top of the image. The overall scene is bright and natural.

**VI STÅR
MIDT I EN
REVOLUSJON**

**FOR EN
FORNYBAR
VERDEN**

13 Elektrifiseringsandel av energi i sluttbruk per sektor (%) i Lavutslippsscenarioet



Fornybar kraft og batterier kutter utslipp gjennom elektrifisering

I Lavutslippsscenarioet dekker elektrisitet 43 prosent av verdens energibehov i 2050, fra rundt en femtedel i dag. I dette avsnittet ser vi hvordan klimagassutslippene fra transport, bygg og industri kan reduseres ved å utnytte den utslippsfrie energien fra vind og sol gjennom elektrifisering.

Med de stadig lavere kostnadene for sol- og vindkraft vil elektrifisering i mange tilfeller være det mest kostnadseffektive klimatiltaket. Dersom verden skal lykkes med dypere utslippskutt, handler mye om å ta den fornybare kraften i bruk i sektorer som transport, bygninger og industri.

I Lavutslippsscenarioet dobles elektrisitetsbehovet over perioden og vokser i gjennomsnitt med 2,5 prosent per år. Fornybar kraft står for hele veksten i elektrisitetsbehovet samtidig som fornybar skyver ut kull, gass og olje fra kraftmiksen. Fossilandelen i kraftmiksen faller fra 64 prosent i dag til 13 prosent i 2050.

Elektrisitetsandelen i transportsektoren vokser mest i Lavutslippsscenarioet og ender på 27 prosent i 2050, fra et veldig lavt utgangspunkt på 1 prosent, der olje står for over 90 prosent av energibruken i dag.

Raske kostnadsfall observeres for batterier - drevet fram av økende elbilvolum. I Lavutslippsscenarioet vil personbiler, busser, varebiler og to- og trehjulinger raskt elektrifiseres. Våre analyser viser at levetidskostnadene for disse elektriske kjøretøyene raskt blir lavere enn fossile biler flere og flere steder i verden. I Lavutslippsscenarioet ser vi mer enn 70 prosent reduksjon av batterikostnadene fram mot 2050. I dag jobbes det med å øke batteriproduksjonskapasiteten og diversifisere forsyningskjeden. Markedet er ikke modent og det er fremdeles mye å spare på å forbedre produksjonslinjen. For å nå 70 prosent kostnadsreduksjon er batteriproduksjonen i tillegg avhengig av å benytte andre kjemiske sammensetninger enn i dag. Dette vil forbedre batterieffektiviteten, gi en reduksjon i materialkostnader og i tillegg bidra til å unngå mangel på komponenter og materialer.

Stasjonære batterier står for rundt 12 prosent av total batterikapasitet i 2050 (GWh), mens resten av volumet kommer fra transportsektoren. Lavutslippsscenarioet anslår, som i 2019, at nær 100 prosent av nye lettere kjøretøy er batteridrevne, mens nær 60 prosent av nye tyngre kjøretøy går på batteri eller hydrogen i 2050 på verdensbasis (figur 14).

3

HYBRIDPROSJEKTER BLIR KONKURRANSEDYKTIGE ALTERNATIVER: SOL-, VIND- OG VANNKRAFT MED BATTERI ELLER GRØNT HYDROGEN

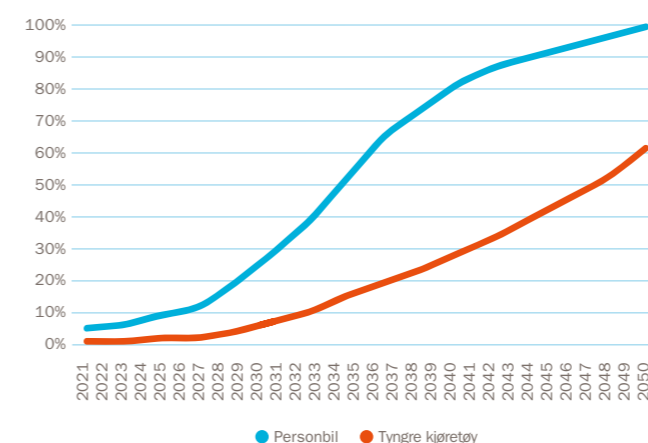
I et kraftsystem med en økende andel variabel kraftproduksjon, ser vi at det å kombinere ulike teknologier på samme anleggsområde kan være hensiktsmessig. Dette kalles hybridprosjekter. Ved å kombinere variabel fornybar kraftproduksjon med lagringsløsninger som batterier eller grønt hydrogen, kan slike prosjekter på egen hånd håndtere svingninger i kraftprisen og tilføre både energi og fleksibilitet til systemet.

Samløkalisering av batterier og/eller elektrolyserer med sol-, vann- og/eller vindkraft kan spare installasjonskostnader der spesielt nettilkoblingen utgjør en viktig del. Ved økende volum av sol- eller vindkraft i kraftsystemene vil kraftprisen falle i perioder med mye sol eller vind, typisk midt på dagen (se figur 10). Dette kalles kannibalisering. Ved samlokalisering av eksempelvis solkraft og batterier trenger man ikke å selge kraften fra solcellene til kraftnettet når kraftprisene er lave eller negative, men heller bruke denne perioden til å lade batteriene. Batteriene kan sende denne kraften til nettet når etterspørselen etter kraft øker og tilbudet ellers går ned. I mange land i verden vil dette være utover ettermiddagen.

Med kostnadsfall på fornybar kraft, batterier og hydrogen, forventer vi at ulike typer hybridprosjekter vil øke i omfang. Lønnsomheten til hybridprosjektet vil kunne bli større enn delprosjektene hver for seg. Samtidig kan disse hybridprosjektene også tilføre kritiske systemtjenester til lokale nettoperatører og være særlig relevante i områder med begrenset nettkapasitet.



14 Batterielektrisk og hydrogenelektrisk andel av nybilsalg globalt i Lavutslippsscenarioet (%)



For energibruk i bygg vil energieffektivisering av bygg og apparater, direkte elektrifisering i form av varmepumper, samt hydrogen og bioenergi, bidra til at utslippene går ned med 46 prosent over perioden. Elektrisitetsandelen øker fra 33 prosent i dag til 57 prosent av det totale energibehovet (sluttbruk) i 2050 i Lavutslippsscenarioet.

Innen energibruk i industrien står sementindustri, kjemisk industri og stålindustrien for 12-14 prosent av CO₂-utslippene i verden i dag³⁹. Direkte elektrifisering vil være den mest kostnadseffektive klimaløsningen for varmeprosesser med lav temperatur i disse industriene. Det forventes også et tettere samspill mellom industri- og byggsektoren. Eksempelvis vil industri kunne bidra med overskuddsvarme inn i fjernvarmenettet som leverer varme til bygg, og industri kan få kjøling tilbake. Et eksempel på dette er datasentre som har et konstant behov for kjøling og produserer mye varme som ellers går til spille. Her kan varmepumper nyttiggjøre seg av temperaturdifferansen og øke levert varme og kjøling ved hjelp av elektrisitet. I Lavutslippsscenarioet forventer vi at elektrisitetsandelen i industrien øker fra 28 prosent til 41 prosent over perioden globalt (figur 13).

Fornybart hydrogen og ammoniakk blir attraktive klimaløsninger der direkte elektrifisering er utfordrende

Utslippsfritt hydrogen seiler opp som en attraktiv klimaløsning på områder der det er krevende å elektrifisere direkte. Flere land har giret opp hydrogensatsingen sin det siste året, og EU lanserte sin egen hydrogenstrategi i 2020.

Noen sektorer og applikasjoner er uegnede eller uøkonomiske å avkarbonisere via direkte elektrisitet. Eksempler vil være transport av tyngre last over større avstander, høytemperatur varmeprosesser og kjemiske prosesser i industrien. Her vil en kombinasjon av utslippsfritt hydrogen, bioenergi, karbonfangst med bruk/lagring, energieffektivisering og sirkulær økonomi kunne redusere klimagassutslippene. Konkurransen til disse løsningene varierer med applikasjonene og vil i større grad være avhengig av karbonpris og politiske virkemidler. Med kostnadsfallet for fornybar energi forventes hydrogen fra elektrolyse å bli mer og mer konkurransedyktig sammenlignet med fossile alternativer innenfor disse områdene.

4

ELEKTRIFISERING I PARALLELL MED ØKT FORNYBARANDEL I KRAFTMIKSEN KUTTER UTSLIPP

Skal vi lykkes med å begrense global oppvarming, har vi dårlig tid. Få land kan gjøre som Norge: Å først bygge en utslippsfri kraftsektor og deretter elektrifisere. For å holde tempoet som kreves i Lavutslippsscenarioet er det nødvendig å starte elektrifiseringen i parallell med avkarbonisering av kraftsektoren i verden. Med dagens europeiske kraftmikser, vil elbiler allerede i dag ha under halvparten av klimagassutslippene til en diesebil i et livsløpsperspektiv ifølge våre og eksterne analyser. Med en ren kraftsektor som i Norden og Frankrike, reduseres utslippene med mer enn 80 prosent i forhold til en diesebil. Dette skyldes at elmotoren er så effektiv at nesten all energi går til fremdrift, mens fossilmotorer er ineffektive og må brenne mye fossilt brensel for å få tilsvarende fremdrift. Kraftmiksen i Europa og i verden blir raskt grønnere med mer sol- og vindkraft. Dette øker klimaeffekten ved å bytte til elbiler.

Tilsvarende gjelder for oppvarming fra varmepumper i stedet for gass. Varmepumper kan produsere tre til fire ganger mer varme enn tradisjonelle gassovner ved samme energiforbruk. Selv en elektrisk varmepumpe fyrt med elektrisitet produsert fra 100 prosent kull vil i våre analyser gi mindre eller like mye klimagassutslipp som en svært effektiv gasskjele med 90 prosent virkningsgrad. Da er ikke metanlekkasjer fra gassnettet inkludert.

For Europa er kraftsektoren en del av kvotepliktig sektor, hvor det er et maksimalt antall utslippskvoter som er tilgjengelig. Økt etterspørsel etter elektrisitet fra transport og bygninger fører dermed til at utslipp flyttes fra ikke-kvotepliktig til kvotepliktig sektor. Dersom elektrifisering på kort sikt i enkelte timer gir økt produksjon av kull- og gasskraft vil det, gitt alt annet likt, føre til høyere kvotepriser og utslippskutt et annet sted i kvotepliktig sektor. Samtidig vil økte kvotepriser gjøre det mer lønnsomt å bygge ut fornybar energi og gjennomføre energieffektiviseringstiltak. Om økt elektrifisering skaper behov for mer kraft, vil ny fornybar kraft ha lavere levetidskostnader enn ny kull- og gasskraft. Sol- og vindkraft blir derfor det økonomisk beste alternativet for ny kraftproduksjon (figur 9).

Elektrifisering i parallell med utbygging av en stadig grønnere kraftsektor blir dermed både samfunnsøkonomisk fornuftig og nødvendig for å nå klimamålene.



Hydrogen kan transporteres og brukes på tvers av sektorer og applikasjoner, kan lagres over lengre perioder, kan inngå i kjemiske reaksjoner bl.a. i petrokjemi- og ammoniakkindustrien og er utslippsfritt ved bruk. Dermed har hydrogen en del egenskaper som komplementerer bruk av direkte elektrisitet. Hydrogen produsert fra fornybar kraft og vann (omtalt som «grønt hydrogen») er utslippsfritt både ved produksjon og bruk, mens hydrogen produsert av fossilt drivstoff med karbonfangst og lagring kan bli rundt 90 prosent utslippsfritt (omtalt som «blått hydrogen»).

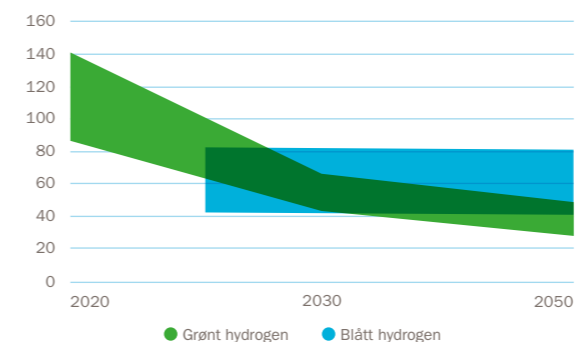
I dag produseres allerede rundt 117 millioner tonn hydrogen primært fra fossilgass og kull. Hydrogen brukes i dag i industrien og står for over 2 prosent av de energirelaterte CO₂-utslippene globalt. I Lavutslippsscenarioet vil industrien måtte redusere sine utslipp og mer av dagens fossilbaserte hydrogen vil produseres utslippsfritt. Som en del av EUs nye industristrategi foreslår Kommissjonen å bruke innovasjonsfondet fra kvotesystemet til å stimulere til utslippskutt i energiintensiv industri⁴⁰. EU har blant annet ambisjon om nullutslipp i stålindustrien. Stålindustrien står i dag for rundt 22 % av industrielle CO₂-utslipp i EU. Her kan det være mulig å bruke hydrogen istedenfor kull som reduksjonsmiddel for all jern- og stålproduksjon, samt til en del varmeprosesser⁴¹. Innen tyngre kjøretøy anslår Lavutslippsscenarioet at elektriske kjøretøy enten i form av hydrogen brenselcelle eller batteri vil bli dominerende i 2050. En analyse av levetidskostnadene viser at både elektriske og hydrogen-drevne lastebiler vil være konkurransedyktige sammenlignet med diesellastebiler fra slutten av 2020-tallet. Hydrogenlastebiler og batterielektriske lastebiler vil komplementere hverandre for ulike anvendelser avhengig av kjøreevstand, last og brukstid. Fossil gass og innblanding av bio- eller syntetisk drivstoff og hybridlastebiler vil få en rolle i overgangen til nullutslipp.

Det siste året har flere land akselerert hydrogensatsingen, og blant annet Tyskland, Norge og EU har lansert egne hydrogenstrategier nå i 2020⁴². EU har skissert en plan for å skalere opp en europeisk hydrogenindustri der minst 6 GW fornybar hydrogenelektrolyse skal være på plass innen 2024, minst 40 GW fornybar hydrogenelektrolyse innen 2030 og storskala bruk av fornybar hydrogenteknologi i blant annet stål- og kjemisk industri skal være på plass innen 2050.





15 Kostnadsutvikling for grønt og blått hydrogen i Lavutslippsscenarioet (EUR/MWh)*



Den tyske strategien peker på at hydrogen fra fornybar kraft vil være den bærekraftige løsningen over tid, mens utslippsfritt hydrogen fra for eksempel fossilgass (blått) vil være relevant for Tyskland i en overgangsperiode. De forventer at utslippsfritt hydrogen vil kunne handles mellom land og satser blant annet på import av grønt hydrogen fra Nord-Afrika. I Lavutslippsscenarioet vil utslippsfritt hydrogen dekke 6 prosent av den totale energietterspørselen i verden i 2050 (i sluttbruk).

Kostnadsutvikling for hydrogen fra fornybar kraft (grønt)

Grønt hydrogen forventes å være konkurransedyktig med blått hydrogen allerede i dag i områder med gode fornybarressurser. De siste fem årene har kostnadene for elektrolyserer allerede falt med over 30 prosent og med økt skala forventes kostnadene å falle videre (figur 15).

Grønt hydrogen er per i dag 50 % - 100 % dyrere enn hydrogen fra fossil energi uten karbonfangst. Blått og grønt hydrogen antas å komplementere hverandre heller enn å konkurrere. Blått hydrogen vil i hovedsak produseres i stor skala og sentralt, mens grønt hydrogen typisk produseres i mindre skala, ofte lokalt, nær etterspørsel.

På grunn av lav volumetrisk energitetthet vil både transport og lagring av hydrogen være krevende og kostnadsdrivende. Eksisterende saltgrotter anslås å være attraktive for storskala hydrogenlagring. For transport av store volum av hydrogen kan ombygging og oppgradering av rørledninger være et alternativ. Dagens fossilgassrørledninger er per i dag ikke compatible med en høy andel hydrogen og det kreves betydelige investeringer i infrastruktur. Våre analyser viser at det generelt vil være attraktivt å produsere hydrogen fra fornybar kraft nær etterspørselen der fornybarressurser og lagring er tilgjengelig.

Med kostnadsfall for fornybar kraft og elektrolyserer kan grønt hydrogen konkurrere med fossilt hydrogen i flere applikasjoner allerede fra 2030. Kraftprisen er en viktig kostnadsparameter og kan stå for typisk 70-85 prosent av kostnadene i 2050 (figur 16). Nyere modeller av elektrolyserer er designet for å kjøre fleksibelt og effektivt og kan derfor bidra med etterspørselsfleksibilitet ved å flytte kraftetterspørsel til perioder med mye sol- eller vindkraftproduksjon**.

16 Kostnader for grønt hydrogen i 2050 fordelt på kostnadskomponenter (%)



Sektorkobling gjennom elektrifisering gir fleksibilitet i kraftsystemet

Sektorkobling i vid forstand dreier seg om hvordan alle sektorene med høyt energiforbruk knyttes tettere sammen med kraftsektoren. I praksis handler dette om hvordan kraftsektoren blir stadig mer sentral i energisystemet.

Energien fra kraftsektoren vil i økende grad benyttes i bygg, industri og transport enten gjennom direkte elektrifisering, eller ved å bruke hydrogen/ammoniakk som energibærere. Kraftetterspørselen fra bygg-, industri- og transportsektoren vil være langt mer fleksibel framover enn etterspørselen man tradisjonelt har sett i kraftmarkedet, og sektorkobling vil derfor føre til en helt annen fleksibilitet på etterspørselssiden.

Sektorkobling ved hjelp av smarte ladeløsninger vil kunne gi viktig kortsiktig fleksibilitet til kraftsystemet. Personbiler står parkert rundt 95 prosent av levetiden sin. Dette gjelder også elbiler. Vi har nå over 7 millioner elbiler i verden, og elbilsalget økte med 6 prosent i 2019. Også under Covid-19-krisen ser vi at bilprodusentene fortsetter å satse på elbiler. Volvo har satt seg mål om at elbiler skal stå for 50 prosent av nybilsalget allerede i 2025 og mener Covid-19-krisen bare vil framskynde elektrifiseringstrenden⁴³. Totalt var investeringene innen elbilproduksjon i EU 19 ganger høyere i 2019 enn i 2018 med 60 mrd EUR. Tyskland stod for to tredjedeler av investeringene hvorav 20 prosent gikk til produksjon av bilbatterier. Volkswagen vil for eksempel femdoble elbilproduksjonen i Europa på to år til 745 000 elbiler i 2021 og ha 75 ulike elbilmodeller på veiene fra 2029⁴⁴. I Lavutslippsscenarioet får vi over 1,4 milliarder elbiler kjørende rundt på veiene i verden i 2050. Dette tilsvarer rundt 19 000 GWh batterilagringskapasitet, avhengig av forutsetninger som grad av selvkjøring og kjørelengde. Batterilagringskapasiteten i elbiler vil dermed utgjøre en attraktiv fleksibilitetskilde for kraftsystemet ved hjelp av smarte ladeløsninger.

Smart lading kan flytte en signifikant del av kraftetterspørselen fra transportsektoren til tider av døgnet med mye sol- og vindkraft og/eller lite annet forbruk. På sikt vil også kraft kunne leveres fra batteriene og inn på nettet. Ved å fordele forbruk smartere reduseres behovet for annen produksjonskapasitet i timer med lite vind eller sol, og i timer med mye vind eller sol kan behovet for regulert nedstegning av fornybar kraft reduseres. I tillegg kan kostnadene knyttet til nettutbygging begrenses. Smart lading fordeler forbruket utover og reduserer effektbehovet.

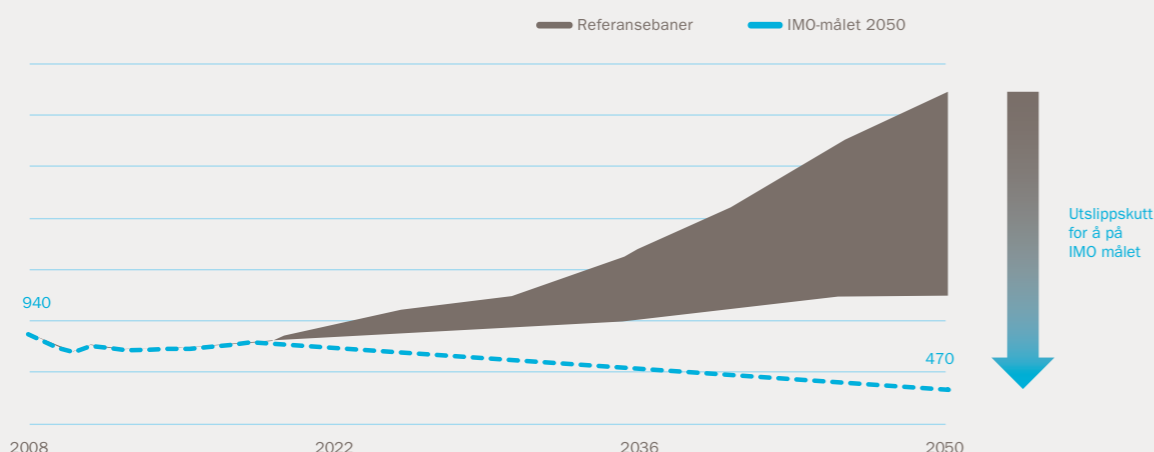
* IHS og Statkraft analyser. 100MW PEM elektrolyser 72% virkningsgrad. EUR/MWh. Kostnader for blått hydrogen er usikkert, og avhenger av kostnader for å transportere og lagre karbon.

**I dag er det i hovedsak to elektrolysereteknologier som brukes: polymer-elektrolytt membran (PEM) og alkalisk elektrolyse.

AVKARBONISERING AV SKIPSFART MED GRØNN AMMONIAKK

Maritim sektor står overfor store utfordringer når den skal omstilles til å halvere utslippene i 2050. Utslipp fra internasjonal skipsfart styres av FNs sjøfartsorganisasjon (IMO) og utgjør 2-3 prosent av globale CO₂-utslipp.

17 Utslippsreduksjoner i skipsfarten for å nå IMO-klimamålet i 2050 (Mt CO₂e per år).



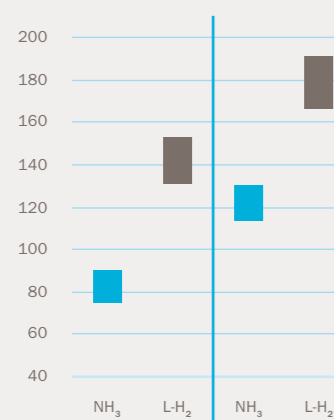
Ettersom dagens maritime drivstoff er både billig og har høy energitetthet, forventes utslippsfrie alternativer ikke å bli konkurransedyktige uten karbonpris og politisk tilrettelegging. De fleste utslippsfrie løsninger utfordres på lagringsplass og vekt. Helelektriske batteriskip egner seg best for kortere, forutsigbare transportetapper som ferger eller elvebåter nedover i Europa. Komprimert hydrogen vil få utfordringer med lagringsplass for lengre transportetapper. Flytende hydrogen er mulig, men forventes å bli mindre attraktivt enn fornybar (grønn) ammoniakk. Dette skyldes primært at skipene vil være billigere enn skip som anvender flytende hydrogen og i tillegg har ammoniakk bedre volumetrisk energitetthet enn hydrogen. Ammoniakk er en hydrogenbærer som er lettere å lagre og distribuere enn flytende hydrogen (figur 18).

Grønn ammoniakk kommer opp mange steder som et av de beste nullutslippsdrivstoffene for langdistanse skipsfart. Grønn ammoniakk slipper ikke ut klimagasser verken i produksjon eller bruk og egner seg både som drivstoff i transport og som innsatsfaktor i gjødselindustrien. Produksjonen foregår ved at fornybart hydrogen tilføres nitrogen i en Haber-Bosch-prosess og konverteres til ammoniakk (NH₃). Forbrenning av ammoniakk i forbrenningsmotor vil gi NO_x-utslipp som må håndteres med en katalysator tilsvarende teknologien i dagens dieselmotorer. Grønn ammoniakk kan også brennes direkte i en brenselcelle. Med brenselceller dannes det ikke NO_x og energiutnyttelsen øker i forhold til forbrenningsmotorer. Dette forventes å bli det mest attraktive alternativet på sikt. Ammoniakk kan også omformes tilbake til hydrogen, men energitap og kostnader gjør at sistnevnte sjelden vil konkurrere med hydrogen produsert lokalt. Kostnadene for grønn ammoniakk forventes å falle med kostnadsfall i fornybar kraft og i utstyr som elektrolyser og enklere Haber-Bosch-anlegg.

Det produseres i dag årlig rundt 150 millioner tonn fossil ammoniakk som brukes i gjødselproduksjon og andre kjemiske industriprosesser. Dette fraktes på skip og har derfor allerede en opparbeidet infrastruktur. Ammoniakk er giftig og krever sikkerhetsregelverk for håndtering. Per i dag eksisterer det ikke løsninger som er utslippsfrie og kommersielt tilgjengelige innen skipsnæringen. Med en levetid på rundt 30 år for skip, er usikkerheten rundt framtidige løsninger en stor utfordring for næringen.

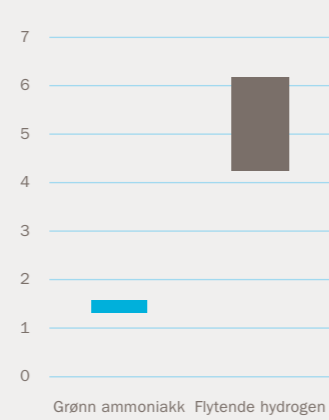
18 Kostnader for produksjon, lagring og transport av flytende hydrogen (L-H₂) og grønn ammoniakk (NH₃).

Produksjonskostnader EUR/MWh

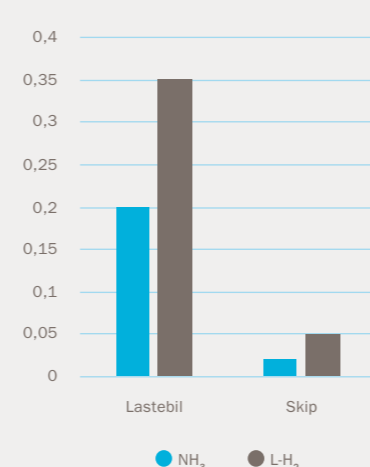


Kraftpris 30 EUR/MWh 50 EUR/MWh

Lagringskostnader Levetidskostnader (EUR/kg)



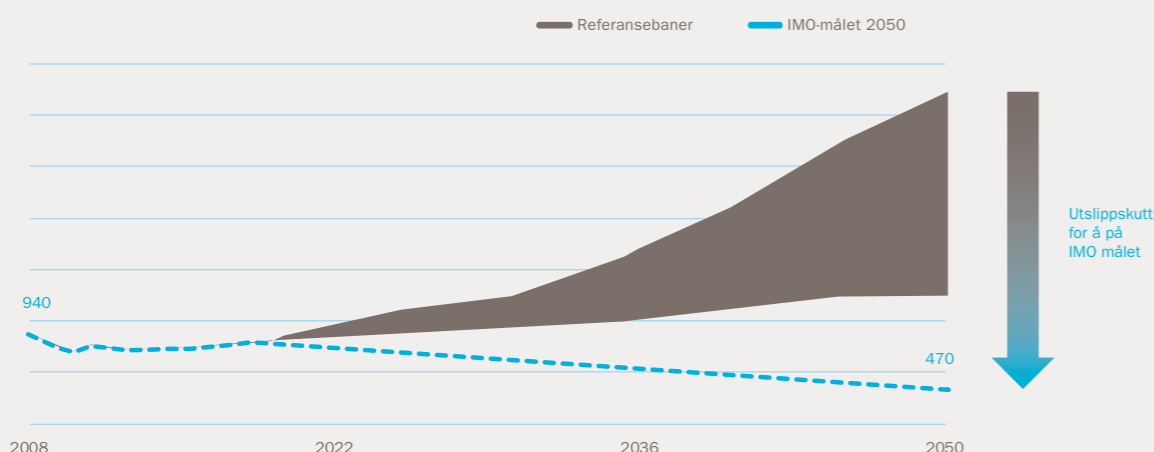
Transportkostnader (EUR/tkm)



AVKARBONISERING AV SKIPSFART MED GRØNN AMMONIAKK

Maritim sektor står overfor store utfordringer når den skal omstilles til å halvere utslippene i 2050. Utslipp fra internasjonal skipsfart styres av FNs sjøfartsorganisasjon (IMO) og utgjør 2-3 prosent av globale CO₂-utslipp.

17 Utslippsreduksjoner i skipsfarten for å nå IMO-klimamålet i 2050 (Mt CO₂e per år).



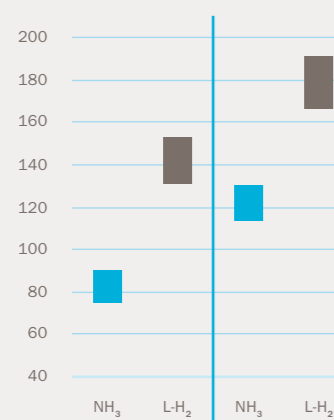
Ettersom dagens maritime drivstoff er både billig og har høy energitetthet, forventes utslippsfrie alternativer ikke å bli konkurransedyktige uten karbonpris og politisk tilrettelegging. De fleste utslippsfrie løsninger utfordres på lagringsplass og vekt. Helelektriske batteriskip egner seg best for kortere, forutsigbare transportetapper som ferger eller elvebåter nedover i Europa. Komprimert hydrogen vil få utfordringer med lagringsplass for lengre transportetapper. Flytende hydrogen er mulig, men forventes å bli mindre attraktivt enn fornybar (grønn) ammoniakk. Dette skyldes primært at skipene vil være billigere enn skip som anvender flytende hydrogen og i tillegg har ammoniakk bedre volumetrisk energitetthet enn hydrogen. Ammoniakk er en hydrogenbærer som er lettere å lagre og distribuere enn flytende hydrogen (figur 18).

Grønn ammoniakk kommer opp mange steder som et av de beste nullutslippsdrivstoffene for langdistanse skipsfart. Grønn ammoniakk slipper ikke ut klimagasser verken i produksjon eller bruk og egner seg både som drivstoff i transport og som innsatsfaktor i gjødselindustrien. Produksjonen foregår ved at fornybart hydrogen tilføres nitrogen i en Haber-Bosch-prosess og konverteres til ammoniakk (NH₃). Forbrenning av ammoniakk i forbrenningsmotor vil gi NO_x-utslipp som må håndteres med en katalysator tilsvarende teknologien i dagens dieselmotorer. Grønn ammoniakk kan også brennes direkte i en brenselcelle. Med brenselceller dannes det ikke NO_x og energiutnyttelsen øker i forhold til forbrenningsmotorer. Dette forventes å bli det mest attraktive alternativet på sikt. Ammoniakk kan også omformes tilbake til hydrogen, men energitap og kostnader gjør at sistnevnte sjelden vil konkurrere med hydrogen produsert lokalt. Kostnadene for grønn ammoniakk forventes å falle med kostnadsfall i fornybar kraft og i utstyr som elektrolyser og enklere Haber-Bosch-anlegg.

Det produseres i dag årlig rundt 150 millioner tonn fossil ammoniakk som brukes i gjødselproduksjon og andre kjemiske industriprosesser. Dette fraktes på skip og har derfor allerede en opparbeidet infrastruktur. Ammoniakk er giftig og krever sikkerhetsregelverk for håndtering. Per i dag eksisterer det ikke løsninger som er utslippsfrie og kommersielt tilgjengelige innen skipsnæringen. Med en levetid på rundt 30 år for skip, er usikkerheten rundt framtidige løsninger en stor utfordring for næringen.

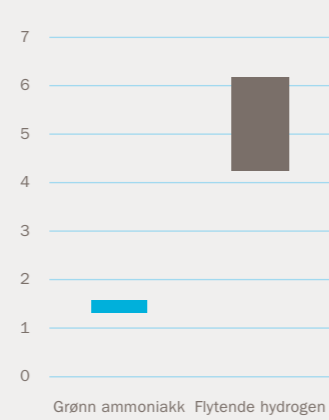
18 Kostnader for produksjon, lagring og transport av flytende hydrogen (L-H₂) og grønn ammoniakk (NH₃).

Produksjonskostnader EUR/MWh

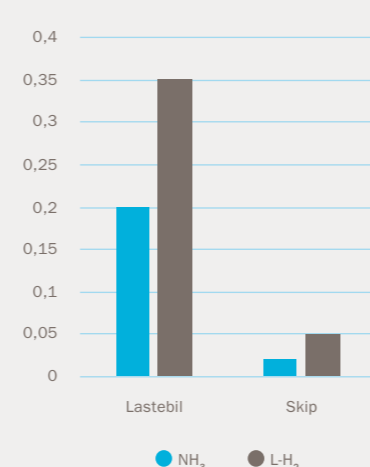


Kraftpris 30 EUR/MWh 50 EUR/MWh

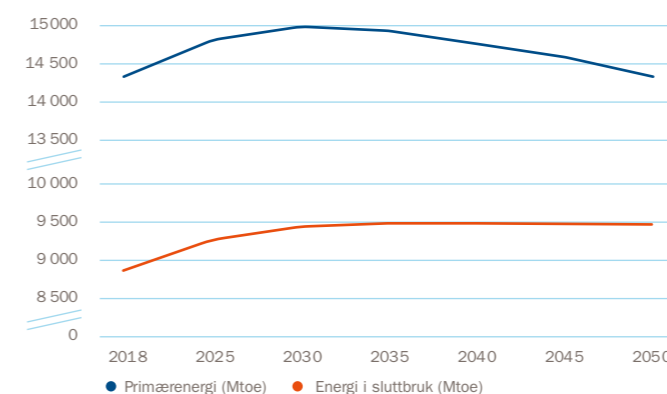
Lagringskostnader Levetidskostnader (EUR/kg)



Transportkostnader (EUR/tkm)



19 Etterspørsel etter primærenergi og energi i sluttbruk fra i dag til 2050 (Mtoe). Behovet for primærenergi ender på dagens nivå (blå linje øverst), mens energi i sluttbruk vokser fra i dag (rød linje nederst).

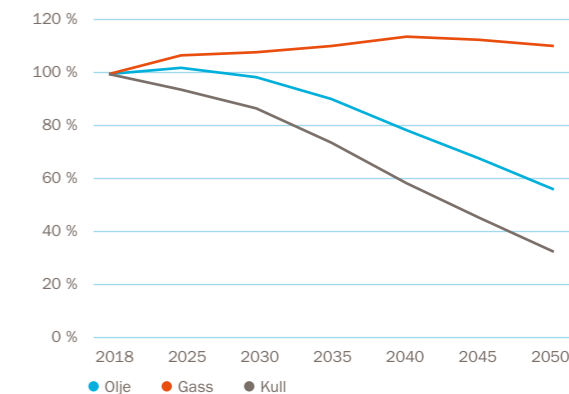


Ekstra effektbehov fra elbillading kan ellers føre til et betydelig behov for oppgraderinger og investeringer i kraftnettet. Med smarte ladesystemer kan nettutbygging knyttet til ekstra effektbehov reduseres med 40 til 90 % av investeringsbehovene i verden avhengig av region og egenskaper i kraftnettet⁴⁵.

Sektorkobling via elektrifisering av bygg gir tilsvarende fordeler som smart lading av elbiler. Smart oppvarming av vann og bygningsarealer innebærer at deler av varmeetterspørselen flyttes til timer med høy fornybar kraftproduksjon eller lite annet forbruk og tilhørende lavere kraftpriser. Oppvarmingsbehovet har en sesongprofil som følger temperaturendringene i regionen. Generelt er det dermed mye høyere oppvarmingsbehov om vinteren enn om sommeren for den nordlige halvkule. Ved å innføre en smartere elektrisitet-til-varmeløsning i Europa, der mer av etterspørselen flyttes til perioder med mye variabel kraftproduksjon innenfor døgnet, viser våre analyser at klimagassutslipp fra byggsektoren reduseres med én til to prosent over perioden. Vi får også fem prosent lavere behov for batterilagring i kraftsystemet*.

Smart lading av elbiler og smart oppvarming av bygg vil bli viktig for kortsiktig fleksibilitet. Disse kan tilby fleksibilitet innenfor et døgn, men vil ikke løse behovet for å flytte kraft over lengre tidsperioder (långsiktig fleksibilitet) – når det er lite vind og sol over flere dager. I Norge vil fornybar, regulerbar vannkraft kunne dekke behovet for slik långsiktig fleksibilitet. Få land har denne muligheten, men over tid vil også sektorkobling via utslippsfritt hydrogen kunne tilby långsiktig fleksibilitet. Som tidligere nevnt, kan hydrogen bidra på tvers av alle sektorene ved at fornybar kraft brukes til å produsere hydrogen ved lave (eller negative) kraftpriser som deretter kan brukes i transport-, industri- og byggsektoren. I tillegg vil utslippsfritt hydrogen kunne gå tilbake igjen i kraftsektoren og bistå med fleksibilitet og balansekraft og ta den samme fleksibilitetsrollen som fossil gass har i dag. På grunn av effektivitetstap fra kraft til hydrogen og tilbake til kraft vil dette bli en relativt dyr fleksibilitetsløsning. Hydrogen til kraft kan leveres enten fra gassturbiner (CCGT, OCGT) eller brenselceller. Med en virkningsgrad på litt over 50 prosent vil nesten halvparten av energien gå tapt i prosessen hvis ikke varmen utnyttes. Når brenselceller kombinerer kraft og varme, er det mulig å oppnå rundt 90 prosent virkningsgrad der halvparten av energien kan gå til kraft og rundt 40 prosent til varmegjenvinning. Man kan allerede i dag blande inn rundt 20 prosent hydrogen i eksisterende gasskraftverk uten oppgradering.

20 Fossiletterspørsel indeksert til 2018.



Dette kan redusere utslippene noe (5-7 %), men øker samtidig kostnadene og reduserer virkningsgraden fra kraftverket. For ytterligere innblanding må forbrenningssystemet endres.

Lavutslippsscenarioet følger en 2-graders utslippbane

Dette skjer selv om verdens befolkning og økonomi fortsetter å vokse. Etterspørselen etter kull når en topp før 2025, for deretter å avta. For olje inntreffer etterspørselstoppen rundt 2030, og for fossil gass rundt 2040.

I dag er verden fortsatt avhengig av fossile energikilder og med økt befolkningsvekst og økt velstand fortsetter behovet for energi å vokse. Fossil energi brukes i dag både for å produsere kraft og varme, for å transportere mennesker og varer og i ulike industriprosesser. I Statkrafts Lavutslippsscenario vil etterspørselen etter primærenergi fortsette å øke fram til 2030-tallet, men gradvis langsommere, for deretter å flate ut og avta mot 2050. Dette skjer selv om verdens befolkning og økonomi fortsetter å vokse. Energiintensiteten i økonomien avtar, og behovet for primærenergi ender på samme nivå i 2050 som i dag. Energi behovet i sluttbruk øker likevel med 7 prosent over perioden i Lavutslippsscenarioet. Denne økningen skyldes at det blir mindre energitap fra energien utvinnes og produseres fram til den brukes til slutt (figur 19 og faktaboks 6). Fossil energi vil erstattes av fornybar energi og fossilandelen i primærenergi faller fra 81 prosent i dag til 52 prosent i 2050**.

MER

etterspørselsfleksibilitet. Smart oppvarming av vann og bygningsarealer og smarte ladeløsninger flytter deler av kraftetterspørselen til timer med høy fornybar kraftproduksjon eller lite annet forbruk

*Forutsetninger for analysen: Høy varmeetterspørsel og høy fornybar kraftproduksjon ble flyttet nærmere hverandre innenfor en dag og tilsvarende for perioder med lav varmeetterspørsel og lav kraftproduksjon. Dette gjør at kraftproduksjons- og etterspørselsprofilen innenfor dagen blir jevnere.

**Primærenergi er mengden utvunnet energi før energitap som følge av konvertering, transport og foredling av energien fram til sluttbruk (se faktaboks 6 for mer detaljer).



6

PRIMÆRENERGI: ULIKE TELLEMÅTER FOR FOSSIL OG FORNYBAR ENERGI HAR STOR BETYDNING

En vanlig motforestilling mot energiomstillingen er at 80 prosent av verdens behov for energi i dag kommer fra fossile energikilder, og at kun 4 prosent kommer fra fornybare kilder (målt i primærenergi). Det kan synes nærmest umulig å fase ut fossile brensler ved hjelp av fornybar energi når avstanden er så overveldende stor.

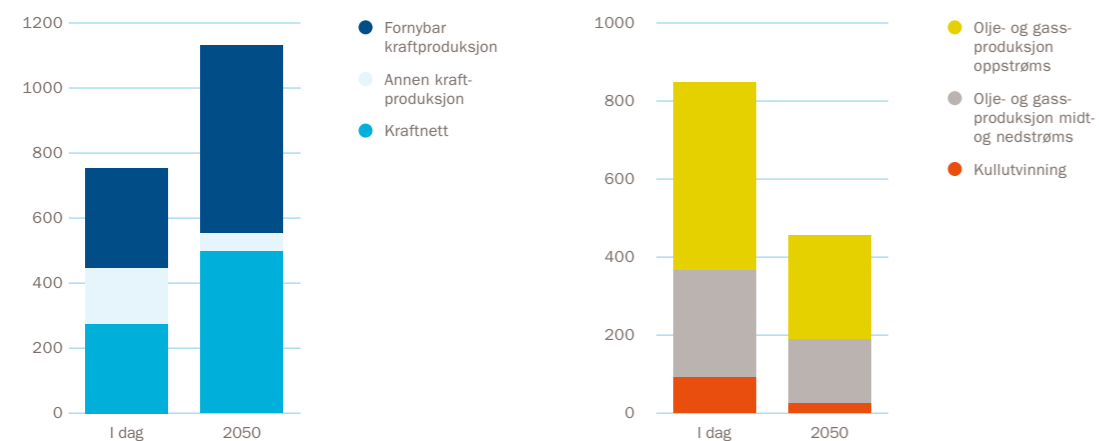
Primærenergi er definert som en energiform som finnes i naturen, men som ikke har vært utsatt for menneskelige prosesser for omforming, for eksempel i et kraftverk eller en bil. Man teller all den teoretisk utnyttbare energien i energikildene. I den mest alminnelige bruken betyr dette at fossile energikilder telles basert på den teoretiske energien som ligger latent, mens fornybar energi telles derimot basert på elektrisiteten som produseres.

Dette høres ut som en teknisk forskjell, men har stor betydning: Et moderne kullkraftverk har en virkningsgrad på 40 prosent, dette vil si at 60 prosent av den latente energien i kullet («primærenergien») går tapt i konvertering fra kull til elektrisitet. En overgang fra kull til fornybar elektrisitet vil i statistikken resultere i 60 prosent lavere energibehov uten at det faktiske sluttforbruket av strøm har endret seg. Tapet i bruk av fossil energi består av varme som slippes ut til omgivelsene.

Dette vil altså si at for hver enhet med fornybar elektrisitet som brukes for å erstatte moderne kullkraft, vil kullforbruket gå ned med 2,5 enheter. For hver enhet med fornybar elektrisitet som brukes til å drive en bil som erstatter fossile forbrenningsmotorer, vil oljeforbruket gå ned med rundt 4 enheter. I dag står kull konvertert til elektrisitet for om lag 17 prosent av verdens primærenergiforsyning, mens fornybar står for om lag 4 prosent. Siden én enhet med fornybar kan erstatte over 2,5 enheter med kull, trenger vi ikke å femdoble fornybarvolumene for å erstatte *all* kullkraft. Vi trenger «bare» å øke fornybarvolumene med rundt 70 prosent. Olje brukt til transport står i dag for om lag 21 prosent av verdens energiforsyning. Dersom vi øker verdens fornybarproduksjon med 50 prosent vil det kunne dekke all olje til transport dersom alt hadde kunnet gå over til direkte elektrisitet.

Det er en stor avstand mellom fossile brensler og fornybar energi i dag, og det er en enorm utfordring å fase ut fossile brensler. Likevel er det verdt å merke seg at problemet er mindre enn det ofte fremstilles som.

21 Investeringer i kraftsektoren (graf til venstre) og fossil energi (graf til høyre) i USD mrd per år fra i dag til 2050 (USD 2020)



I Lavutslippsscenarioet treffes alle de fossile energikildene av energiomstillingen, men til ulik tid.

Kull treffes først og hardest. I Lavutslippsscenarioet har etterspørselen etter kull allerede nådd toppen før 2025 og etterfølges av strukturell etterspørselsnedgang fram til 2050. Vi ender med 9 prosent kullandel av primærenergien i 2050. Etterspørselstoppen for olje kommer rundt fem år senere enn for kull, og til slutt kommer etterspørselstoppen for fossil gass rundt 2040. Etterspørselen etter fossil gass øker med 0,3 prosent per år i gjennomsnitt fra i dag, men begynner å avta etter 2040. Gass har fortsatt en rolle i bygg-, transport- og industrisektoren og for å balansere kraftmarkedene, spesielt i lengre perioder med lite vind og sol. I Lavutslippsscenarioet faller etterspørselen etter kull med 68 prosent, etterspørselen etter olje med 44 prosent, mens etterspørselen etter gass øker med 10 prosent fra i dag (figur 20).

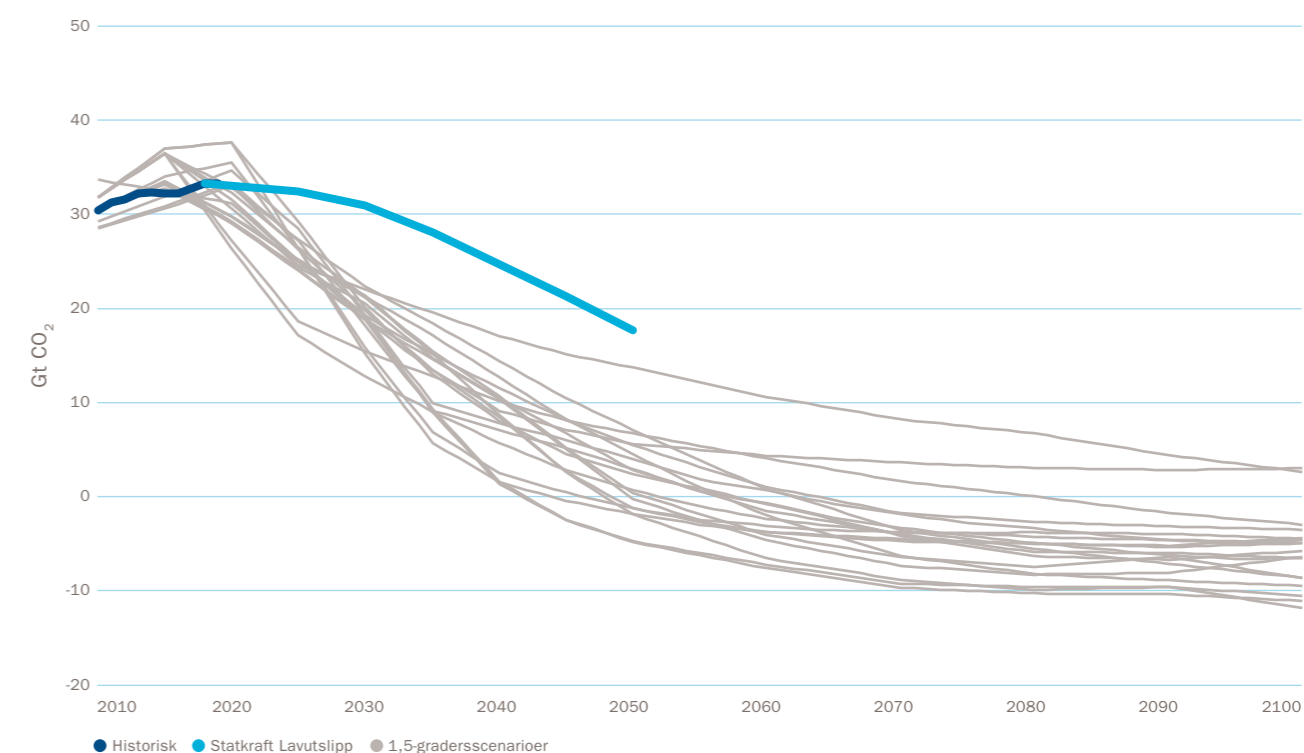
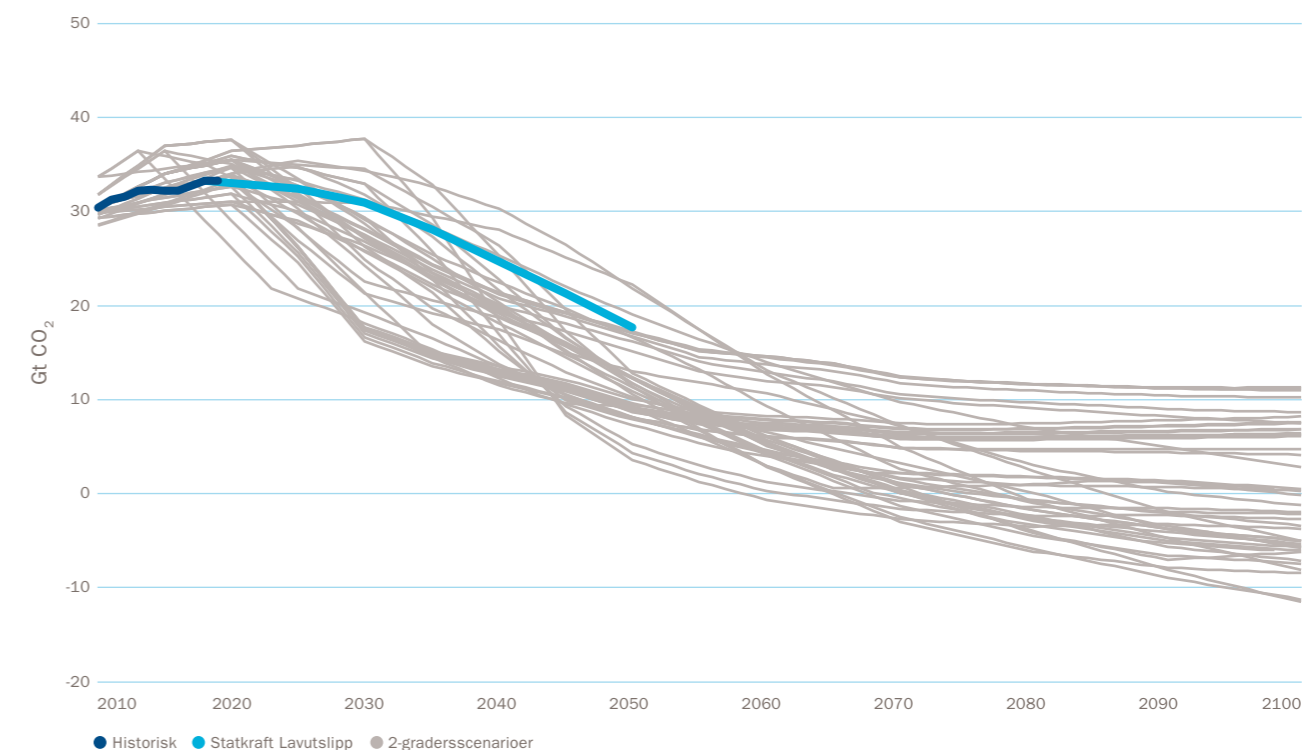
Investeringene i kraftsektoren vil være mer enn dobbelt så høye som investeringene innen fossil energi i Lavutslippsscenarioet i 2050 (figur 21). Trenden vi har sett de siste årene fortsetter, der investeringer har flyttet fra fossil energi over mot kraftsektoren og fornybar energi (figur 2 og 3). Det er også verdt å merke seg at totalinvesteringsnivået i energisystemet i 2050 vil ligge på omtrent samme nivå som i dag til tross for økonomisk vekst og befolkningsoppgang. Dette skyldes både en dekobling mellom energjetterspørsel og økonomisk vekst og fallende kostnader for fornybar energi.

Med avtagende etterspørsel etter all fossil energi mot 2050 vil de globale energirelaterte CO₂-utslippene falle med 47 prosent fra i dag til 2050 og vi ender opp med 17,6 Gt CO₂ i 2050 i Lavutslippsscenarioet. Kraftsektoren står for de største energirelaterte CO₂-utslippene i dag og får de største utslippskuttene med 70 prosent over perioden. Kraftsektorutslippene faller etter hvert som kull- og deretter gasskraft byttes ut med fornybar kraft. Industrisektoren er den nest største utslippssektoren i dag og andelen av totale utslipp er økende over perioden. Transportsektoren bruker nå i hovedsak olje som energikilde og er den tredje største utslippssektoren i dag. Utslippene fra både transport og bygninger faller med rundt 50 prosent over perioden, mens utslippene fra industrisektoren faller med en fjerdedel.

Dette resulterer, som i 2019, i at de energirelaterte CO₂-utslippene i Lavutslippsscenarioet er i tråd med FNs klimapanel sine 2-gradersutslippbaner, men utslippene faller fortsatt ikke raskt eller kraftig nok til å nå en 1,5-gradersbane (figur 22)*. Den største forskjellen mellom Lavutslippsscenarioet og en 1,5-graders energiverden er hastighet – vi ser de samme løsningene, men en 1,5-gradersbane vil kreve langt raskere handling der flere teknologiske løsninger må utvikles i parallell.



*FNs klimapanel sine 2-graders- og 1,5-gradersbaner har blitt utviklet ved hjelp av forskjellige -integreerte evalueringsmodeller- (Integrated Assessment Models, IAMs) der man har brukt ulike forutsetninger for teknologiske og sosio-økonomiske parametere.

22 Årlige energirelaterte CO₂-utslipp i Statkrafts Lavutslippsscenario sammenlignet med andre 2-gradersscenarier (øverst) og 1,5-gradersscenarier (nederst). Inkluderer utslipp fra fossile kilder og bioenergi med karbonfangst og lagring.^{46,*}

*Grafer er utarbeidet av Forskningsdirektør Glen Peters, CICERO og hentet fra IAMC 1,5°C Scenario Explorer og Statkraft-analyser⁴⁶.

3

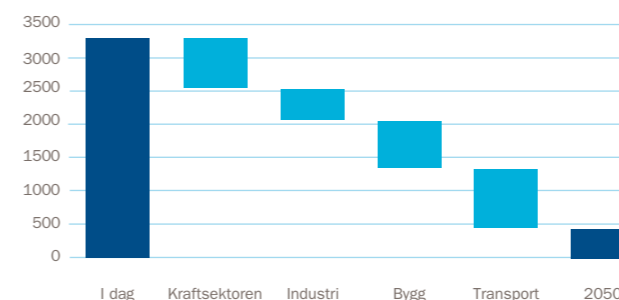
**HVA KAN BREMSE ELLER
ØKE OMSTILLINGSFARTEN?**



BERRY BURN VINDPARK, i Highlands-området i Skottland

HVA KAN BREMSE ELLER ØKE OMSTILLINGSFARTEN?

23 Utslippsreduksjoner i Europa i Lavutslippsscenarioet fra i dag til 2050 per sektor (energirelaterte CO₂-utslipp i Mt).



Statkrafts Lavutslippsscenario forutsetter at politikk, marked og teknologi trekker i samme retning. Dersom det ikke skjer, kan den globale energiomstillingen bli mindre effektiv, mer kostbar og gå tregere. I dette kapitlet ser vi på hvilke muligheter og hindringer som kan oppstå i den europeiske energiomstillingen fram mot 2050, og hva slags konsekvenser det kan få: Ulike politiske klimaambisjoner, varierende bruk av karbonprising, begrensninger rundt elbilutrusting og overgang til elektriske varmekjeller, forsinket utfasing av kullkraft, samt økt motstand mot utbygging av vindkraft på land.

En viktig forutsetning i Lavutslippsscenarioet er at politikk støtter opp rundt de grunnleggende markedstrendene og ønsket om å løse klimautfordringen. De siste årene har vi sett en rekke endringer i det politiske landskapet i Europa. Etter at USA trakk seg ut av Parisavtalen har EU tatt et større klimapolitisk lederskap og bidrar til fortsatt momentum i global klimapolitikk. EU setter ambisiøse klimamål og viser vilje til å gjennomføre en politikk som gjør at målene kan bli nådd. De siste årene har utslippene fra kraftsektoren falt raskt i Europa. Men skal EU nå sine klimamål må det også gjennomføres kutt i sektorer hvor det er mer krevende å redusere utslipp og hvor kuttene kommer nærmere forbrukerne. Både i transport og oppvarming av bygg vil det være behov for forsterkede politiske virkemidler for å få ned utslippene raskt nok. Det er derfor svært positivt at EU har lansert sin nye grønne vekststrategi der EU kombinerer tydelige politiske mål med markedsbaserte løsninger ("European Green Deal"). Vekststrategien fornyer også EUs tenking rundt industriutvikling, tydeliggjør klima og bærekraft som hovedkomponenter og etablerer en tydelig sosial forpliktelse for å sikre at klimaomstillingen blir rettferdig.

Andre sentrale trender kan imidlertid trekke den europeiske klimapolitikken i en annen retning. Populistiske partier har fått økt støtte de senere årene. Internasjonalt samarbeid møter motstand. Pandemien kan naturlig føre til redusert oppslutning om både klima og internasjonalt samarbeid. Klima har en tendens til å falle lavere på den politiske agendaen når det oppstår andre mer akutte kriser. Det er krevende for et politisk system å håndtere en trussel som ligger langt fram i tid, men som det bare er mulig å løse gjennom handling i dag.

Så langt ser det ikke ut til at klimapolitikken i EU er satt tilbake av Covid-19. EUs krisepakke har en grønn profil og EU fortsetter å sette klima høyt på agendaen. Det er likevel fortsatt usikkerhet knyttet til oppnåelse av klimamålene og medlemslandenes implementering av vekststrategien. Samtidig observerer vi til dels sterk lokal motstand mot en del konkrete klimatiltak.

Med dette som bakteppe ønsker vi å belyse ulike hindringer og barrierer som kan gjøre at omstillingen blir mindre effektiv, dyrere eller går langsommere enn i Lavutslippsscenarioet. Vi ser også på hva som kan drive fram et høyere omstillingstempo. Vi har brukt en kostnadsoptimert energisystemmodell for Europa for å få økt innsikt i konsekvensene av følgende^{47,*}:

- Klimaambisjoner mot 2050 - hvilke utslag gir høye, lave og forsinkede klimaambisjoner for energiomstillingen?
- Karbonprising i Europa – hva er konsekvensene av lik/ulik karbonpris på tvers av land og sektorer?
- Barrierer mot elektrifisering – hvilke konsekvenser har dette for energiomstillingen?
- Forsinket utfasing av kullkraft i Europa - hva er aktuelle løsninger?
- Hindringer mot utbygging av vindkraft på land – hva er alternativene?

*Energisystemmodellen forutsetter at de mest samfunnsøkonomiske løsningene for Europa blir valgt. Kostnadsoptimeringen gjøres på tvers av regioner og sektorer. I alle sensitivitetene utenom de som ser på alternative klimamål legger vi til grunn at EU lykkes med å nå klimamålene sine selv om man møter ulike barrierer for omstilling. Det vil si at målene ikke nås på den måten vi tror er mest sannsynlig og som er lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet. Analysene gjengitt i dette kapitlet er gjennomført av Statkraft i samarbeid med T. Burandt, K. Hainsch og K. Löffler (Technische Universität Berlin)⁴⁷.

LAVUTSLIPPSSCENARIOET I EUROPA – EN KOSTNADEFFEKTIV OMSTILLING

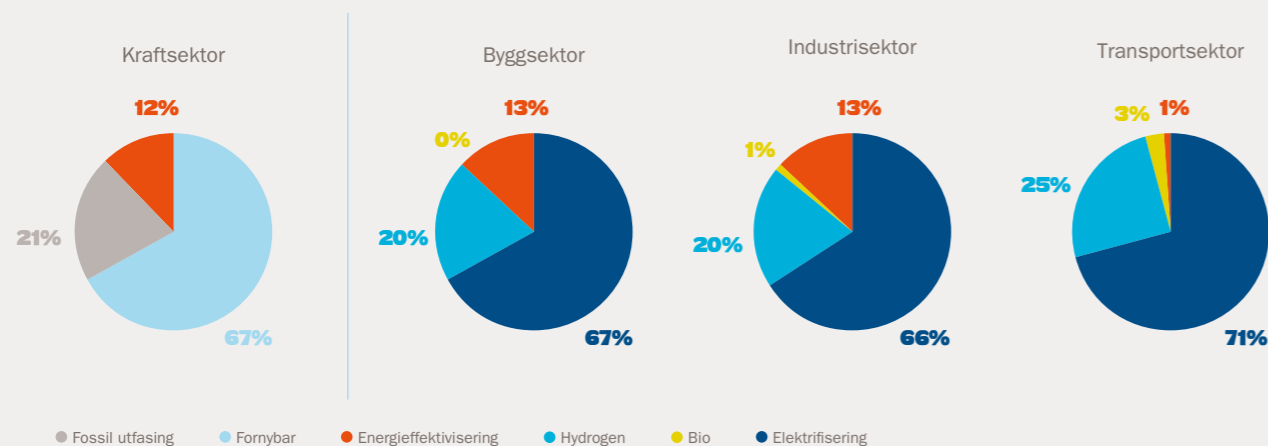
I Lavutslippsscenarioet legger vi i år til grunn at energibruken i EU avkarboniseres i henhold til et 90 prosent klimamål i 2050 i tråd med «European Green Deal»-ambisjonene. Vi forventer at Covid-19 gir lavere økonomisk vekst i Europa over perioden, noe som igjen gir lavere behov for energi og elektrisitet enn forventningene som lå til grunn før pandemien.

En kostnadseffektiv omstilling til Lavutslippsscenarioet i Europa resulterer i en nesten fullt avkarbonisert kraftsektor i 2050 med 95 prosent fornybar kraftproduksjon og over 80 prosent kraft fra variable kilder. Solkraft står for halvparten av kapasiteten i kraftsektoren i 2050 med en årlig kapasitetsvekst på ca. 8 prosent. Vindkraft står for litt over en tredjedel av kapasiteten med en årlig vekst på 6 prosent. Samtidig øker elektrisitetsbehovet med rundt 60 prosent fra i dag. Transport- og kraftsektoren står for de største utslippskuttene fra i dag til 2050 (figur 23).

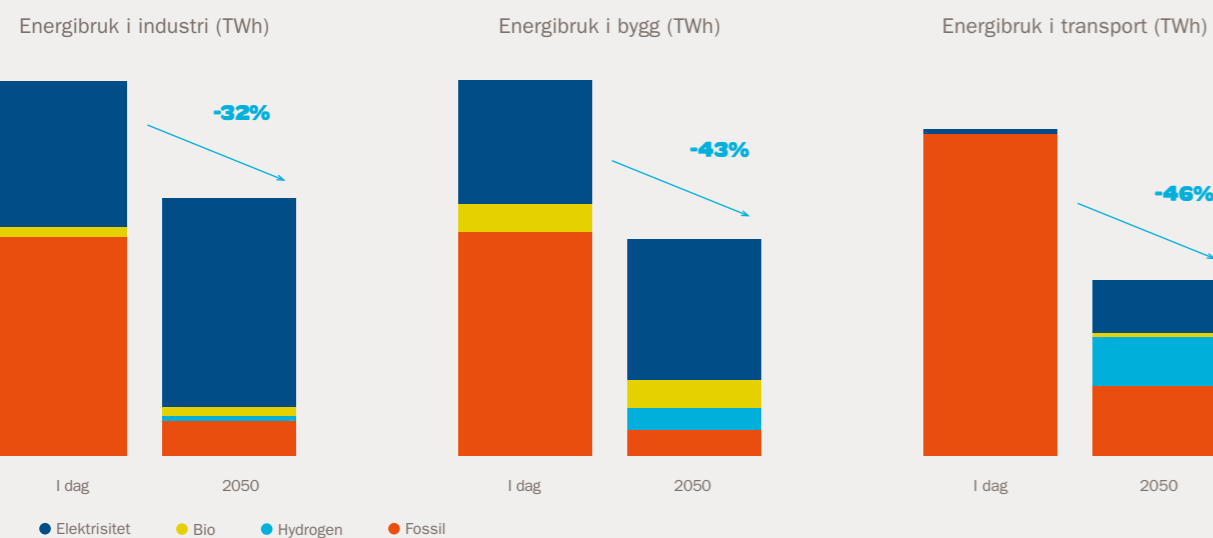
I kraftsektoren kommer to tredjedeler av utslippsreduksjonene fra fornybare kilder, ca. en femtedel fra utfasing av kullkraft og resten fra energieffektivisering. I de andre sektorene er elektrifisering det mest kostnadseffektive klimatiltaket på tvers av geografi, tid og sektor. Elektrifisering bidrar i våre analyser med over to tredjedeler av utslippskuttene i både transport-, industri- og byggsektoren. Utslippsfritt hydrogen står for en femtedel av utslippskuttene i bygg- og industrisektoren og en fjerdedel av utslippskuttene i transportsektoren over perioden. Utslippsfritt hydrogen som klimaløsning akselererer etter 2030 og ender med en andel på 12 prosent av totalenergien i sluttbruk i Europa i 2050. Energieffektivisering og bioenergi vil stå for resten av utslippskuttene (figur 24).

Selv om behovet for elektrisitet øker, går det totale energibehovet i sluttbruk ned med henholdsvis 46 %, 43 % og 32 % for transport-, bygg- og industrisektoren (figur 25). Dette skyldes energieffektivisering, at elektrisitet erstatter fossile energikilder, og at elektrisitet i sluttbruk generelt er mer effektivt enn fossil energi i de fleste applikasjoner. Fossil energibruk i bygg-, industri- og transportsektoren faller med til sammen 83 prosent fra i dag til 2050 i våre analyser.

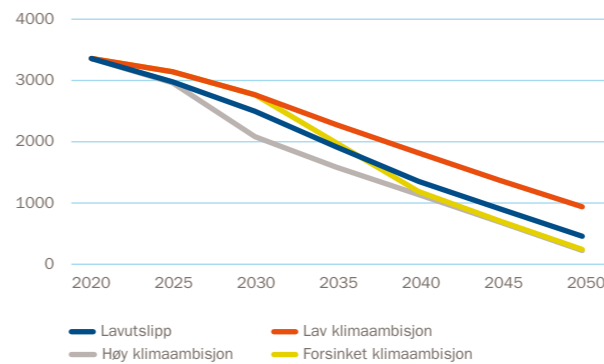
24 Kostnadsoptimal avkarbonisering per sektor i Europa fra i dag til 2050 i Lavutslippsscenarioet. Industrien inkluderer kun energibruk og ikke innsatsfaktorer.



25 Energibruk (sluttbruk) i Lavutslippsscenarioet i dag og i 2050



26 Utslippsbaner i Europa med ulike klimaambisjoner (energirelatert CO₂-utslipp i Mt).



Høy, lav og forsinket klimaambisjon mot 2050: Uforutsigbarhet er kostbart

En forsinket klimaambisjon vil være svært fordyrende for Europa, først og fremst fordi den fører til høyere utbygging av både kull-, gass-, sol- og vindkraft sammenlignet med det som forutsettes i Lavutslippsscenarioet. Fram mot 2050 vil de samlede energisystemkostnadene i Europa bli fire prosent høyere enn i Lavutslippsscenarioet.

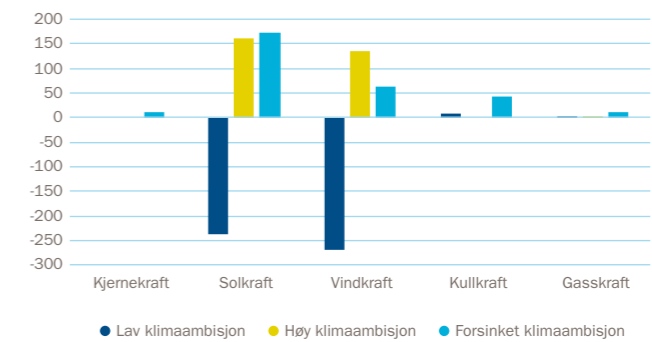
Klimamålene for Europa fra 2030 fram mot 2050 er fortsatt under forhandling. Vi har analysert konsekvensene for energiomstillingen av ulike europeiske klimaambisjoner, og sett hvordan dette slår ut i forhold til Lavutslippsscenarioet. Flere nyere studier anslår at EU-landene må kutte klimagassutslippene sine med 80 % i 2050 fra 1990-nivåer for å være konsistent med en 2-gradersbane og med 91–96 % for å være konsistent med en global 1,5-gradersbane⁴⁸. Følgende ulike klimaambisjoner er analysert:

- **Lav klimaambisjon:** En energiomstilling i EU som opprettholder dagens 40 % klimamål i 2030 og 80 % ambisjon i 2050
- **Høy klimaambisjon:** En energiomstilling i EU som oppnår 55 % klimamål i 2030 og 95 % klimamål i 2050
- **Forsinket klimaambisjon:** En forsinket energiomstilling i EU. Her har vi lagt til grunn at klimamålet på 40 % i 2030 opprettholdes, mens det etter 2030 blir enighet om innstramning til 95 % klimamål i 2050.

Disse tre sensitivitetene har vi sammenlignet med Lavutslippsscenarioet som forutsetter 90 % klimamål i 2050.

Med en *lav klimaambisjon* for Europa vil omstillingen naturlig nok gå saktere og den europeiske energimiksen vil ikke være i tråd med EU sin nye vekststrategi og ambisjon om klimanøytralitet i 2050. Fornybarandelen i kraftsektoren ender likevel betydelig høyere enn i dag, med hele 93 % i 2050, og 76 % kommer fra variabel kraft (TWh). Elektrisitetsforbruket vokser med rundt 40 % fra i dag, men betydelig lavere enn i Lavutslippsscenarioet da lavere klimaambisjon gir lavere behov for elektrifisering. Solkraft- og vindkraftbygging øker fortsatt betydelig fra i dag, men med en lavere fart. Vi ender med 500 GW lavere kapasitet av sol- og vindkraft i Europa i 2050 enn i Lavutslippsscenarioet, (figur 27).

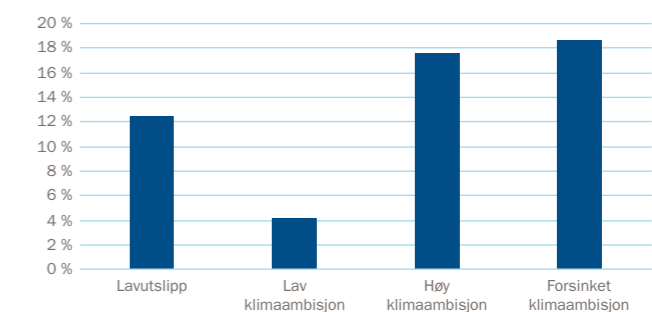
27 Endringer i utbygd kapasitet (GW) i kraftsektoren i Europa for ulike klimaambisjoner i forhold til Lavutslippsscenarioet



Ny sol- og vindkraftproduksjon dekker hele veksten i elektrisitetsforbruk fra i dag til 2050 samtidig som det erstatter 87 % av all kull- og gasskraft som går ut av kraftmiksen over perioden. Kraft- og transportsektoren står for de største utslippskuttene fra i dag (figur 29). En lav klimaambisjon fører til en saktere omstilling av transportsektoren, men også av bygninger. Dermed trengs betydelig mindre utslippsfritt hydrogen enn i Lavutslippsscenarioet i 2050. For alle sensitivitetene gir hydrogen særlig utslag fra 2040 og utover (figur 28).

Med en *høy klimaambisjon* i Europa får vi i stor grad motsatt resultat. Klimamålene på 55 % og 95 % forventes å settes i nær framtid og målene er forutsigbare for aktørene over perioden. Her avkarboniseres kraftsektoren fullstendig og vi ender med negative utslipp. Vi får 96 % fornybar kraftandel i tillegg til noe kjernekraft og biomassekraftverk med karbonfangst og lagring som gir negative utslipp. I 2050 sitter transportsektoren igjen med over 70 % av de gjenværende utslippene ettersom tiltakene som reduserer de siste utslippene i transportsektoren blir relativt sett dyrere. Samtidig øker krafttettersspørselelsen med 70 % fra i dag. Sol- og vindkraftutbyggingen vokser betydelig og vi ender med ca 300 GW mer sol- og vindkraft enn i Lavutslippsscenarioet (figur 27). Utslippsfritt hydrogen kommer inn for fullt mot slutten av perioden og etterspørselelsen er betydelig høyere enn i Lavutslippsscenarioet (figur 28). Hoveddelen av økningen i hydrogenbruk får vi i transport- og byggsektoren.

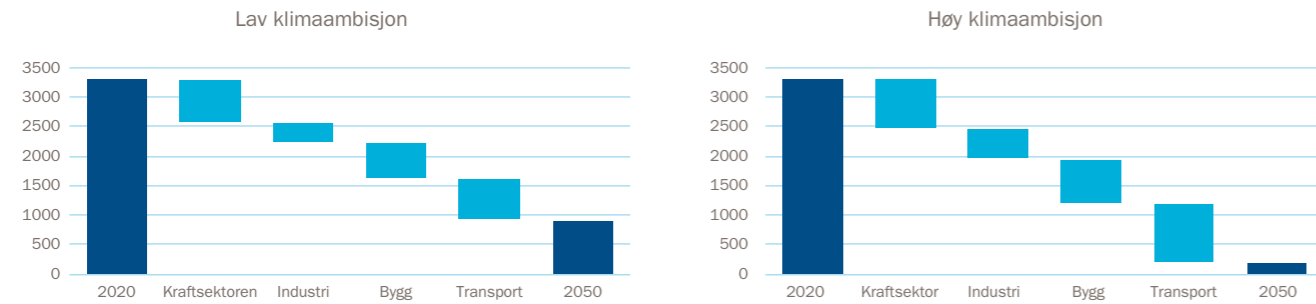
28 Hydrogenandel (%) av total energibruk (sluttbruk) for Europa med ulike klimaambisjoner i 2050.



95 %
fornybar kraft i Europa i 2050 i Lavutslippsscenarioet.

12 %
hydrogenandel av total energibruk i Europa i 2050 i Lavutslippsscenarioet

29 Utslippskutt fra i dag til 2050 per sektor for lav klimaambisjon (venstre) og høy klimaambisjon (høyre) (energirelaterte CO₂-utslipp i Mt).



Med en *forsinket klimaambisjon* der EU-landene først klarer å samles rundt økte klimaambisjoner etter 2030 og ender med 95 % klimamål i 2050, viser våre analyser at omstillingen de siste årene blir særlig krevende. I tillegg ender man i dette tilfellet opp med en betydelig andel investeringer i fossil teknologi som ikke kan brukes selv om teknologien er levedyktig i mange år framover («stranded assets»). I dette tilfellet vil manglende forutsigbarhet rundt langsiktige klimamål kunne trigge feil investeringer hos markedsaktørene og gjøre at beslutninger i liten grad blir kostnadsoptimale. Dette gir en betydelig dyrere omstilling totalt for Europa. I våre analyser blir energisystemkostnadene 4 % høyere over perioden i forhold til Lavutslippsscenarioet*. Resultatet blir høyere utbygging av både kull-, gass-, sol- og vindkraft i forhold til Lavutslippsscenarioet (figur 27). Forsinket klimaambisjon gjør at utslippene for perioden 2030–50 må kuttes i gjennomsnitt med 12 % per år sammenlignet med 8 % i Lavutslippsscenarioet. Dette illustrerer betydningen av å begynne raskt og ha forutsigbare langsiktige klimamål slik at aktørene i størst mulig grad vil velge de mest kostnadseffektive løsningene over tid.

I sum viser analysene at:

- En lav klimaambisjon gir lavere omstilling særlig i sektorer utenfor kraftsektoren
- En høy klimaambisjon gir mer fornybar kraft og utslippsfritt hydrogen
- En forsinket og uforutsigbar klimaambisjon er fordyrende for samfunnet.

Styrket karbonprising kutter utslipp tidligere

Gjennom tiåret har det vært en **gradvis styrking i bruk av karbonprising i verden**. I dag er **22 prosent av verdens klimagassutslipp dekket av en karbonpris**. En kombinasjon av høye klimaambisjoner og effektiv karbonprising vil kunne omstille Europa raskere enn om EU kun setter høye klimaambisjoner.

Et av de viktigste virkemidlene for å nå klimamålene er å sette *en pris på klimagassutslipp*. Stadig flere land og regioner i verden har innført egne kvotemarkeder eller karbonskatter⁴⁹. En karbonpris gjør at de som forurenser må betale for sine utslipp og dermed får insentiver til å finne de mest effektive løsningene for å kutte utslipp. Per i dag er rundt 22 % av verdens klimagassutslipp dekket av en eller annen form for karbonpris. Karbonprisen varierer fra 1 dollar per tonn til 127 dollar per tonn.

For den europeiske kraftsektoren, industrisektoren og luftfarten innen EU blir karbonprisen satt av det europeiske kvotemarkedet (ETS) der antall kvoter bestemmes av et utslippstak som strammes inn årlig⁵⁰. I forbindelse med «European Green Deal» vil EU-kommisjonen vurdere endringer i design av det europeiske kvotemarkedet både i forhold til ambisjon og med tanke på å utvide til flere sektorer, spesielt transport og varme til bygg.

I tillegg til ETS har flere europeiske land innført karbonpriser i form av skatt eller kvotemarked også for andre sektorer. Tyskland har et nasjonalt klimamål på 55 % i 2030 og besluttet i 2019 at både transport- og varmesektoren skal få en karbonpris fra 2021. Karbonprisen skal øke gradvis fra 25 EUR/tonn CO₂. Samtidig vil UK gå ut av EU ETS og innføre et eget nasjonalt kvotemarked som en del av Brexit-forhandlingene, men med mulighet for senere linking til det europeiske kvotemarkedet.

For å bedre forstå effekten av karbonprising som virkemiddel, har vi sett nærmere på hva det betyr å variere karbonprisen både over tid, over geografi og på tvers av sektorer for den europeiske energiomstillingen til 2050**.

Et resultat fra våre analyser er at en effektiv karbonprising bidrar til *raskere* utslippskutt i alle sektorer***. Dette skyldes at karbonpris gir et mer direkte signal til adferdsendring innenfor en gitt tid. Et tydelig signal til adferdsendring er viktig fordi mange beslutninger ikke har et langsiktig perspektiv. En kombinasjon av høye klimaambisjoner og effektiv karbonprising vil dermed kunne omstille Europa raskere enn om EU kun setter høye klimaambisjoner.

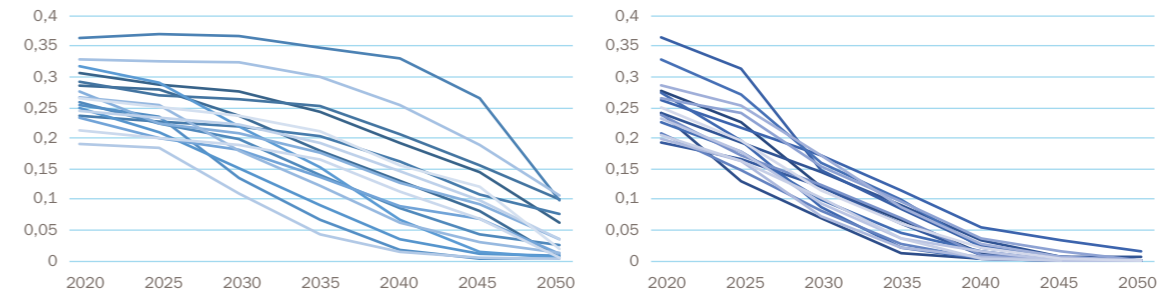
Det europeiske kvotemarkedet opererer med en harmonisert karbonpris på tvers av landene, noe som bidrar til likere konkurransevilkår for aktørene som deltar. Vi har analysert hva som skjer hvis karbonprisen varierer på tvers av land og regioner for sektorer som har felles klimamål på EU-nivå. Hvis noen land innfører en høy karbonpris, mens andre land har en lav karbonpris, viser analysene større variasjon i utslipp per energibruk innenfor en sektor (tCO₂/TWh) og ulikhetene øker mellom land for både industri- og kraftsektoren. Med en felles karbonpris på tvers av landene får vi motsatt effekt og utslipp i forhold til energibruk både i kraft- og industrisektoren konvergerer mot 2050 (figur 30). Gitt alt annet likt kan økte ulikheter resultere i økt karbonlekkasje av varer og produkter, men også av kraft internt i EU.

*Basert på vår europeiske energisystemmodell. Endringer i kostnader for mellomlandsforbindelser er inkludert, men endringer i kostnader for regionale, lokale kraftnett og energieffektivisering er ikke inkludert.

**Forutsetninger for analysen: Ekspisitt karbonprising i tillegg til felles EU klimamål er analysert i tre sensitivitetene: i) En felles karbonpris på tvers av alle land og sektorer, ii) Høyere karbonpris for ETS enn for ikke-ETS sektorer, iii) Høyere karbonpris for noen «ledende» land enn for resten av EU. Resultater fra disse sensitivitetene er sammenlignet med hverandre og med Lavutslippsscenarioet. Karbonprisene varierer fra 0 til 200 EUR/tCO₂. Vi har ikke gjennomført en fullstendig virkemiddelanalyse.

***Med «effektiv karbonprising» menes en karbonpris på nivå med marginalkostnadene ved å kutte utslipp slik at karbonprisen har en reell effekt.

30 Varmebruk i industrien: Utslipp per energibruk per land (MtCO₂/TWh). (Ulik karbonpris mellom land i graf til venstre og lik karbonpris mellom land i graf til høyre).



Dette skyldes at konkurransefortrinnet til aktører i land med lavere karbonpris kan bli styrket relativt til aktører i landene med høyere karbonpris*. Ulik karbonpris, gitt alt annet likt, resulterer i våre analyser i at noen land tar større ansvar for utslippskuttene i EU. Dette bør dermed være et utslag av et bevisst ønske fra disse landene om å kutte nasjonale utslipp ut over hva en felles karbonpris gir insentiv til.

En felles karbonpris på tvers av alle sektorer i Europa vil i et perfekt marked være mest samfunnsøkonomisk optimalt ettersom de billigste utslippskuttene iverksettes først innenfor et veldig stort marked. Alle klimagassutslipp stilles i dette tilfellet overfor samme kostnad og alle aktører har samme insentiver, noe som er enkelt, tydelig og i utgangspunktet oppleves rettferdig.

I praksis er det imidlertid ikke like enkelt. Tiltak som har høye initiale investeringskostnader og tar lang tid å bygge, som for eksempel infrastrukturprosjekter, må ofte iverksettes parallelt med andre tiltak for å gi ønsket klimaeffekt. Styrket investeringssignal for grønne teknologiske løsninger er en viktig driver for omstillingen. Karbonprising slår primært ut på driftskostnadene og levetidskostnadene, men i en del tilfeller vil de initiale kapitalkostnadene være vel så viktige for investeringsbeslutninger. Dette gjelder for eksempel når folk flest skal kjøpe ny bil eller investere i nye varmeløsninger eller energieffektiviseringstiltak for huset sitt. Tidligfase utvikling av teknologier før de blir kommersielt lønnsomme vil også ofte trenge andre virkemidler. I disse tilfellene er det avgjørende at andre virkemidler ikke forstyrrer, men virker sammen med en karbonpris. Spesielt i kvotemarkedet der prisen fastsettes av balansen mellom tilbud og etterspørsel blir det dermed viktig at kvoter kanselleres for å nøytralisere en negativ effekt på karbonprisen fra andre virkemidler**.

Oppsummert viser våre analyser at en effektiv karbonpris sammen med en styrket klimaambisjon kan kutte utslippene tidligere. En mer harmonisert karbonpris på tvers av land er bedre i med tanke på konkurransekraften mellom landene ettersom utslipp per energibruk (gitt alt annet likt) konvergerer over tid innenfor en sektor. I prinsippet vil en felles karbonpris på tvers av alle sektorer gi en mer kostnadseffektiv omstilling, men forutsetter perfekte markeder. En mulig utvidelse av EU ETS til flere sektorer bør utredes grundig. Kostnadene for å kutte utslipp varierer mye mellom sektorer og tiltak. For enkelte tilfeller vil flere virkemidler være nødvendig i tillegg til et kvotemarked, som for utbygging av infrastruktur eller for umodne teknologier. I disse tilfellene bør en eventuell negativ effekt på kvoteprisen forårsaket

av andre virkemidler nøytraliseres slik at karbonprisen forblir effektiv.

Barrierer mot elektrifisering i bygg, industri og transport gir økt bruk av utslippsfritt hydrogen

Elektrifiseringen som er lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet forutsetter blant annet rask og geografisk jevnt fordelt utbygging av ladeinfrastruktur og kraftnett, et stort nok markedstilbud av elektriske kjøretøy og en rask overgang til elektriske varmepumper i både bygg- og industrisektoren. I dette avsnittet ser vi på hva som blir konsekvensene for Europas klimamål dersom noen av disse forutsetningene møter hindringer.

I Lavutslippsscenarioet legger vi til grunn at kraftetterspørselen i Europa øker med to tredjedeler fra i dag til 2050. Vi får en elektrisitetsandel av total energibruk i bygg-, transport- og industrisektoren på henholdsvis 66 %, 30 % og 81 % i 2050. Selv om våre analyser viser at dette er den mest kostnadsoptimale omstillingen for å nå klimamålene, betyr det ikke at det vil gå av seg selv. Elektrifisering på nivåer som er lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet forutsetter blant annet betydelig nettutbygging og oppgraderinger i alle europeiske land. Blant annet i Tyskland har det vært tydelig motstand mot nettutbyggingen fra nord til sør, noe som har forsinket beslutningsprosessene⁵¹. I tillegg forutsettes det en rask og geografisk jevnt fordelt utbygging av ladeinfrastruktur, nok tilgjengelige elektriske kjøretøy i markedet, og en rask overgang til elektriske varmepumper både i bygg- og industrisektoren. Sistnevnte er blant annet avhengig av at nasjonale tariffen og avgiftsstrukturer ikke i praksis gjør elektrisitet dyrere relativt til alternative fossile løsninger. I dag kan sluttbrukertariffer for elektrisitet i enkelte land gjøre det dyrere for forbruker å velge elektrisitet framfor fossil energi til for eksempel oppvarming av bygg. Dersom det oppstår hindringer på ett eller flere av disse områdene, kan direkte bruk av elektrisitet begrenses. Vi har derfor analysert i mer detalj hvordan Europa fortsatt kan nå sine klimamål dersom det kommer ulike hindringer som begrenser direkte bruk av elektrisitet i bygg-, transport- og industrisektoren. Analysene resulterer i en elektrisitetsandel på henholdsvis 26 %, 51 % og 70 % i 2050 for transport, bygg og industri, betydelig lavere enn i Lavutslippsscenarioet (figur 31)**

22 %
i dag er 22 % av verdens klimagassutslipp dekket av en karbonpris

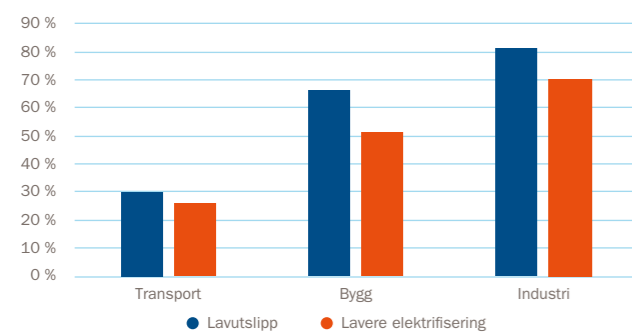
MER
elektriske varmepumper både i bygg og industrisektoren

*Karbonlekkasje er når utslippskutt i ett land fører til økte utslipp i et annet land, for eksempel ved at industri flytter produksjon til et land der det er billigere å slippe ut klimagasser. I tillegg til karbonpris vil også andre forhold som nasjonal energi- og industripolitikk, samt ressursgrunnlag spille en avgjørende rolle for karbonlekkasje og utslipp per energibruk.

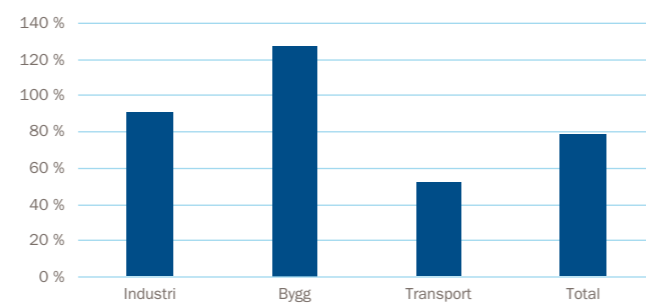
**En overlappende virkemiddelbruk i kvotepliktig sektor gjør at etterpørselen etter CO₂-kvoter reduseres, og det presser kvoteprisene ned. For at kvotesystemet skal kunne komme i balanse igjen, er det nødvendig at tilførselen av CO₂-kvoter justeres ned (kanselleres) tilsvarende, slik at de ulike virkemidlene og kvotesystemet heller forsterker hverandre, og effekten nøytraliseres.

***Forutsetninger for analysen: Det er satt en maksimalbegrensning på andelen av varmebehovet i bygninger (sluttbruk) som kan dekkes av elektriske varmepumper og direkte elektrisk oppvarming, tilsvarende er gjort for direkte elektrisitetsbruk i industrien og utbredelse av elbiler.

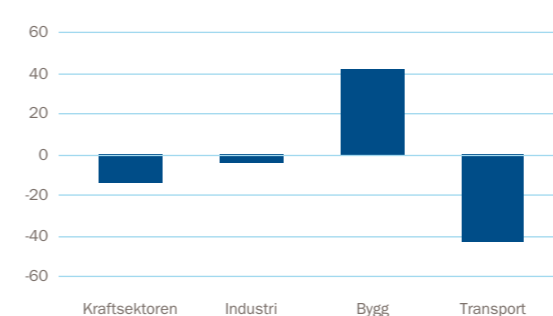
31 Andel elektrisitet per sektor i 2050 i Lavutslippsscenarioet og med lavere elektrifisering (%)



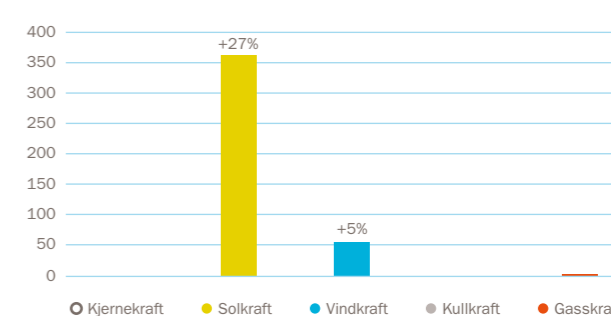
32 Lavere elektrifisering: Prosentvis økning i hydrogenbruk i forhold til Lavutslippsscenarioet (%)



KULLKRAFTVERK i byen Bełchatów i Polen

33 Endringer i utslipp per sektor i 2050 med lavere elektrifisering (Mt CO₂)

34 Endringer i kraftkapasitet (GW) fra Lavutslippsscenarioet i 2050 når direkte elektrifisering begrenses.



Samtidig ser vi at hydrogenbruken øker med 80 % totalt i forhold til Lavutslippsscenarioet (figur 32). Vi ser at utslippsfritt hydrogen kommer inn i stor skala først mot slutten av perioden og fortsetter utfasingen av fossil energi etter at direkte elektrisitet i sektorene stagnerer på grunn av motstand og hindringer*.

Med begrenset bruk av varmpumper i byggsektoren f.eks. på grunn av nasjonale avgifts- og tariffstrukturer, viser våre analyser at hydrogenbruken dobles og vi får noe mer fossil gass for å dekke varmebehovet. På grunn av lavere virkningsgrad for hydrogen blir energibruken i byggsektoren 25 % høyere med færre varmpumper enn i Lavutslippsscenarioet. Byggsektoren blir da dyrere å avkarbonisere og både transport- og kraftsektoren må redusere sine utslipp ytterligere i forhold til Lavutslippsscenarioet for å nå klimamålene på en mest kostnads optimal måte fram mot 2050 (figur 33).

Siden hydrogen har høyere effektivitetstap vil økt bruk av grønt hydrogen resultere i en høyere utbygging av fornybar energi. I mange tilfeller bygges dette lokalt nær etterspørsel, og i våre analyser kommer dette i hovedsak i form av solkraft. I forhold til Lavutslippsscenarioet trengs det nærmere 360 GW ekstra installert solkraft og 54 GW mer vindkraftkapasitet i Europa med lavere elektrifisering (figur 34).

I en kostnads optimal omstilling av Europa der det viser seg at direkte elektrifisering blir vanskelig og møter på hindringer, vil utslippsfritt hydrogen spille en nøkkelrolle. Økt bruk av grønt hydrogen resulterer i behov for mer fornybar kraft enn om elektrisiteten brukes direkte. Resultatene viser at det er de sektorene som lettest kan effektivisere og skifte over til hydrogen som vil ta større andeler av utslippskuttene når direkte elektrisitet begrenses. I våre analyser øker energisystemkostnadene med 1,5 % i forhold til Lavutslippsscenarioet over perioden.

Saktere kullutfasing i Europa resulterer i mer fornybar kraft

I Europa, som i resten av verden, er det land som er skeptiske til en rask omstilling siden økonomi og arbeidsplasser er sterkt knyttet til kullindustrien. I dette avsnittet ser vi at dersom det åpnes for en forsinket utfasing av kullkraftverk i en del europeiske land, vil Europa trenge økt elektrifisering og mer fornybar kraft for å nå klimamålene.

I analysen har vi lagt til grunn at flere europeiske land får lov til å gjennomføre en tregere utfasing av kullkraft, samtidig som at EU skal nå samme klimaambisjoner som i Lavutslippsscenarioet med 90 % utslippskutt innen 2050**. Vi ser at tregere utfasing av kull i kraftsektoren fører til at det må gjennomføres dypere utslippskutt i andre sektorer. Dette resulterer i økt bruk av elektrisitet i både bygg-, industri- og transportsektoren.

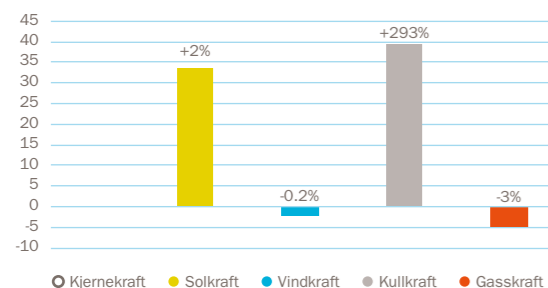
Som følge av økt elektrifisering øker etterspørselen etter kraft relativt til Lavutslippsscenarioet. Det vil si at vi får både økt kullkraft og økt etterspørsel etter fornybar energi, selv om det umiddelbart kan virke litt selvmotsigende (figur 35). Etter hvert som vi nærmer oss 2050 vil det også her være nødvendig å redusere kullforbruket for å kunne nå klimamålene. Da viser våre analyser at vi vil sitte igjen med kullkraftverk som ikke er lønnsomme å kjøre til tross for at den tekniske levetidene til anleggene er langt fra nådd («stranded assets»).

I denne analysen ser vi at tregere utfasing av kull krever raskere omstilling av transport og oppvarming i bygg og industri. Dette viser hvordan klimapolitikk er en avveining av ulike interesser og fordeling av byrder. En utsatt omstilling for kullarbeidere i enkelte europeiske land kan resultere i en raskere omstilling av bilindustrien og byggsektoren i andre land. Dette igjen kan gi lavere etterspørsel etter olje og gass i Europa.

*Av hydrogenproduksjonen er over 70 % grønt hydrogen i 2050 i våre analyser og mye av hydrogenet produseres nær etterspørselen, noe som reduserer behovet for infrastruktur. Det vil også bli behov for blått hydrogen, spesielt i en overgangsperiode før grønt hydrogen blir attraktivt i flere applikasjoner i henhold til våre analyser.

**Forutsetninger for analysen: Det er lagt til grunn en utvidet bruk av kullkraftverk over tidshorisonen i Polen, Tyskland, Tsjekia, Slovakia, Ungarn, Romania, Balkan, Spania og Portugal. Eksisterende kullkraftverk antas å få lengre levetid, i tillegg er farten på utfasing av kullkraft per land begrenset.

35 Endringer i kapasitet i kraftsektoren (GW) ved saktere utfasing av kullkraft. Prosentvis endring fra Lavutslippsscenarioet.



Barrierer mot vindkraftutbygging på land: Andre løsninger for energiomstillingen

En økt motstand mot utbygging av vindkraft på land, samtidig som EUs klimamål opprettholdes, vil føre til økt utbygging av særlig solkraft og også havvind. Det får igjen to viktige konsekvenser: Omstillingen blir mer kostbar, og kraftutveksling mellom land blir mer viktig.

I de fleste land vil befolkningen ha syn på energikostnader, bygging av infrastruktur og naturinngrep. Alle land vil dermed ha sine versjoner av motstand mot omstilling.

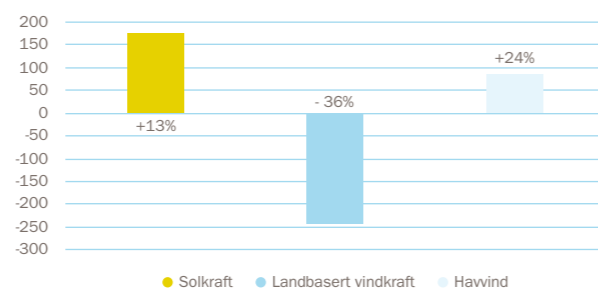
I Norge har vi det siste året sett stor motstand mot enkelte vindkraftutbygginger på land. Selv om meningsmålinger har vist at omtrent like mange i befolkningen er for og imot mer vindkraftutbygging på land, er det store geografiske forskjeller og motstanden har vært svært synlig i media. Ifølge CICERO vil motstand mot klimapolitikk øke dersom politikken er utydelig, om den oppfattes som urettferdig eller tiltaket rammer uberørt natur.

Tilsvarende øker motstanden dersom klimatiltak gjør økonomien trangere for folk⁵². Blant annet har folk tatt til gatene i Frankrike og Norge i protest mot både økte bensinavgifter, økte bompenger og lokal vindkraftutbygging.

Dersom motstanden mot vindkraftutbygging på land øker i flere land, men klimaambisjonene opprettholdes, må Europa finne andre klimaløsninger. I Lavutslippsscenarioet står landbasert vindkraft for rundt en fjerdedel av total kraftkapasitet i 2050 i Europa. Dette er en kostnadsoptimal avkarbonisering for Europa i sin helhet. Vi har analysert konsekvensene dersom landbasert vindkraftutbygging må begrenses, mens EU opprettholder samme klimamål og samtidig søker en mest mulig kostnadseffektiv omstilling*.

Våre analyser viser at en energiomstilling der vindkraftkapasitet på land reduseres med en tredjedel i 2050, resulterer i mer utbygging av annen fornybar kraft. Både solkraft og havvind dekker inn for bortfallet av energiproduksjon fra landbasert vind. Kraftetterspørselen forblir uendret og i tillegg får vi noe mer gasskraft inn til kraftsystemet. Vi ser også at batterikapasiteten i kraftsystemet blir høyere for å balansere kraftsystemet i Europa med så mye mer solkraft.

36 Endringer i fornybarkapasitet (GW) i kraftsektoren ved lavere utbygging av landbasert vindkraft (med % endring fra Lavutslippsscenarioet)



I våre analyser får vi høyere klimagassutslipp fram mot 2030 og vi ser noe mer utslippsfritt hydrogen i de andre sektorene mot 2050.

Samtidig vil behovet for kraftutveksling mellom land endre seg. Kraftutveksling mellom geografiske områder bidrar til å balansere ut mye sol- og vindkraft mellom regioner. Med høyere andel variabel sol- og vindkraft i de europeiske kraftsystemene, blir det dermed viktigere at kraftsystemene er tett koblet sammen for å balansere tilbud og etterspørsel, og bidra til forsyningsikkerhet. I Lavutslippsscenarioet vil kraftutvekslingskapasiteten i Europa øke med 30 % fra i dag til 2050. I en kraftmiks der utbygging av landbasert vind begrenses og erstattes av mer solkraft og havvind, blir behovet for kraftutvekslingskapasitet 5 % høyere i gjennomsnitt over perioden.

I sum ser vi at motstand mot landbasert vindkraft fører til økt utbygging av solkraft og havvind. Videre ser vi at kostnadene ved omstillingen vil øke, og at mellomlandsforbindelser vil bli stadig viktigere. Både økning i kostnader og mellomlandsforbindelser kan i sin tur utløse ny motstand.

*Forutsetninger for analysen: Det er lagt til grunn en lavere utbygging av landbasert vindkraft i en del europeiske land. Dette resulterer i lavere kapasitet (GW) med landbasert vind i Frankrike, Tyskland, UK, Hellas, Spania, Portugal, Italia, Nederland og Polen.



BAILLE VINDPARK, i Highlands-området i Skottland

Oppsummering: Mål om en sosialt rettferdig og kostnads-effektiv energiomstilling

I Lavutslippsscenarioet ender vi opp med et energisystem der kostnadene er lavere per innbygger og per bruttonasjonalprodukt enn det vi ser i dag. Likevel er ikke overgangen uproblematisk. En avgjørende forutsetning for å nå klimamålene, er tilstrekkelig støtte i befolkningen. En slik støtte krever at energiomstillingen oppleves som sosialt rettferdig. Uforutsette hendelser, som Covid-19-pandemien, kan påvirke tempoet i energiomstillingen. Utfallet av pandemien kan føre til varige adferdsendringer der folk reiser og forbruker mindre, noe som kan gi en raskere energiomstilling enn det som er lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet. Utfallet kan også bli det motsatte, med mindre internasjonalt samarbeid og en tregere energiomstilling. Nå som verden skal reise seg igjen etter Covid-19-pandemien, er det forutsigbare ambisjoner, kostnadseffektive løsninger og framtidrettede investeringer som trengs.

En av de største utfordringene for energiomstillingen som ligger til grunn i Lavutslippsscenarioet er hvordan fordeler og ulemper fordeles i samfunnet. I Lavutslippsscenarioet ender vi opp med et energisystem der kostnadene er lavere per innbygger og per bruttonasjonalprodukt enn det vi ser i dag. Likevel er ikke overgangen uproblematisk. Dette skyldes spesielt at mens noen land, befolkningsgrupper og individer kan komme bedre ut etter omstillingen, kan noen komme dårligere ut. Å ha nok støtte i folket er en forutsetning for å få til den raske energiomstillingen som kreves for å nå klimamålene. Løsninger som gir en mest mulig sosial rettferdig omstilling vil fortsette å være nøkkelen for at utviklingen skal være i tråd med Lavutslippsscenarioet.

Det vil også være avgjørende å sørge for gode, forutsigbare rammer for utviklingen. Våre analyser viser at ambisiøse, forutsigbare klimamål, sammen med markeder og en effektiv karbonpris kan drive energiomstillingen raskere og kutte utslippene tidligere enn høye klimaambisjoner alene. Det haster å bygge ut mer fornybar kraft i verden kombinert med økt bruk av elektrisitet i de andre sektorene. Disse klimaløsningene kan raskt utkonkurrere fossile alternativer. En del områder blir vanskelige å direkte elektrifisere og trenger større grad av politisk tilrettelegging. Her vil blant annet utslippsfritt hydrogen og ammoniakk kunne ta en stor rolle. Verden har mye å lære av Europas nye vekststrategi, «European Green Deal». Denne går bredt ut, søker å styrke markedene, fornye industrisatsingen og samtidig støtte opp om sosial rettferdighet.

Med Covid-19 ser vi en økt sannsynlighet for større strukturelle endringer i samfunnet som påvirker de globale energimarkedene. Nedstengninger i forbindelse med pandemien har presset gjennom store endringer i reisevaner, økning i bruk av digitale løsninger og et kraftig fall i forbruk. Pandemien har også vist at rask handling er mulig når den er påkrevd. I tillegg har Covid-19

skapt økt oppmerksomhet rundt dagens levemåte. Dersom tiltakene fører til permanente endringer etter at restriksjonene fjernes og pandemien er over, kan vi få større varige effekter på energisystemene enn vi har lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet. Permanente skift i vaner, adferdsmønstre og transport av varer og mennesker kan føre til en raskere omstillingsfart. Dette kan forsterkes som følge av grønne krisepakker som igjen kan gi større oppslutning om klimapolitikken. På den andre siden er det også en risiko for at pandemien har skapt frykt i befolkningen som kan lede til økt proteksjonisme og økte spenninger og uroligheter mellom stormaktene. Det er risiko for at de eksisterende globale samarbeidsinstitusjonene svekkes. Disse har en viktig rolle for å løse klimakrisen. En fart tilsvarende eller høyere enn Statkrafts Lavutslippsscenario fordrer at global handel og klimapolitikk bygger opp under energiomstillingen.

Med en lavere utbygging av landbasert vindkraft, mindre utvekslingskapasitet, forsinket utfasing av kull eller lavere elektrifisering enn Lavutslippsscenarioet legger til grunn, viser våre analyser at det finnes andre løsninger, men generelt blir energiomstillingen dyrere. Dersom en sektor får lov til en tregere omstilling vil det enten bety at vi ikke når klimamålene, eller at andre sektorer er nødt til å ta en større del av utslippskuttene. Tilsvarende, dersom de langsiktige klimaambisjonene er uforutsigbare, vil vi risikere å ende opp med feilinvesteringer og økonomiske tap for alle involverte. Nå som verden skal reise seg igjen etter Covid-19-pandemien, er det forutsigbare ambisjoner, kostnadseffektive løsninger og framtidrettede investeringer som trengs.

Dersom den europeiske energiomstillingen møter på ulike hindringer og barrierer, viser våre analyser at det uansett blir et stort behov for mer fornybar energi og utslippsfritt hydrogen dersom Europa skal nå klimamålene. Vesentlig mer fornybar energi er nødvendig både for å avkarbonisere kraftsektoren og for å sikre at ren kraft overtar for fossil energi i transport-, industri- og byggsektoren. Utviklingen i energisektoren har skjedd med en overraskende høy hastighet de siste ti årene. Særlig har vi sett store endringer innen solkraft, vindkraft, elektrolysører og batterier. Dette viser at rask utvikling er mulig når politikk, marked og teknologi trekker i samme retning.



ANNEKS: Nøkkelparametre og forutsetninger

Tabell 1. Nøkkelparametre i Statkrafts Lavutslippsscenario sammenlignet med IEA, IRENA og DNV GL*

Sektorer	Statkrafts Lavutslippsscenario 2020	Statkrafts Lavutslippsscenario 2019	IEA STEPS (2019)	IRENA REmap (2020)	IEA SDS (2019)	DNV GL ETO (2019)
Årlig vekst i primær energietterspørsel 2018–50	0,0 %	0,3 %	0,98 % (til 2040)	-0,20 %	-0,30 % (til 2040)	-0,09 %
Kraftsektor						
Etterspørsel	2,5 %	2,5 %	2,03 % (til 2040)	2,35 %	1,70 % (til 2040)	2,43 %
Vindkraft	8,3 %	8,5 %	6,66 % (til 2040)	8,95 %	8,90 % (til 2040)	8,84 %
Solkraft	12,0 %	12,5 %	9,88 % (til 2040)	10,98 %	12,0 % (til 2040)	11,91 %
Vannkraft	1,5 %	1,6 %	1,71 % (til 2040)	1,87 %	2,30 % (til 2040)	1,87 %
Fossilandel i kraftsektor (TWh, 2050)	12,0 %	12,0 %	48,0 % (i 2040)	14,1 %	21,0 %	18,0 %
Primærenergi						
Oljeforbruk: Årlig vekst 2018–50	-1,8 %	-1,7 %	0,41 % (til 2040)	NA	-1,8 % (til 2040)	-1,83 %
Gassforbruk: Årlig vekst 2018–50	0,3 %	0,4 %	1,40 % (til 2040)	NA	-0,2 % (til 2040)	0,42 %
Kullforbruket: Årlig vekst 2018–50	-3,5 %	-3,2 %	-0,05 % (til 2040)	NA	-4,3 % (til 2040)	-3,21 %
Globale energirelaterte CO ₂ -utslipp (GtCO ₂) i 2050	17,6	18,0	35,6 (i 2040)	9,8	15,8 (i 2040)	20,8

*Scenariene er bygget opp på ulike forutsetninger og er derfor ikke direkte sammenlignbare. Både IEA STEPS og DNV ETO scenariene er referansescenario. Statkrafts Lavutslippsscenario er et teknologi-optimistisk-realistisk scenario. IRENA REmap og IEA SDS scenariene tar utgangspunkt i et ønsket klimamål og analyserer seg bakover.

Forutsetninger i Statkrafts Lavutslippsscenario

Statkrafts Lavutslippsscenario strekker dagens globale energitrender og viser et realistisk, optimistisk syn på energiframtiden til 2050.

Scenarioet tar utgangspunkt i en utvikling av kjente teknologier og bygger på Statkrafts egne globale og regionale analyser. Scenarioet baserer seg verken på en lineær framskrivning av dagens trender eller et utgangspunkt i et bestemt klimamål for så å analysere seg bakover. Analysene legger de samme trendene til grunn som i alle andre Statkraft-analyser.

Lavutslippsscenarioet analyserer utviklingen i levetidskostnader for kjente teknologier fram mot 2050, herunder fornybar kraftproduksjon, batterier, utslippsfritt hydrogen m.m. Scenarioet legger til grunn et fortsatt bratt kostnadsfall per MWh og høy utbyggingstakt fram til rundt 2030. Deretter avtar kostnadsfallet noe, først for vindkraft og deretter for solkraft. Dette svarer til et realistisk, men optimistisk anslag.

Lavutslippsscenarioet forutsetter økt fokus på regionale verdikjeder, men fortsatt en betydelig global avhengighet og global handel av varer og tjenester knyttet til energiomstillingen. Statkrafts Lavutslippsscenario legger til grunn at global handel og klimapolitikk bygger opp under energiomstillingen.

Analysene er basert på interne modeller i tillegg til dybdestudier av eksterne kilder

Statkrafts Lavutslippsscenario er utarbeidet av Statkraft sitt strategiske analyseteam i samarbeid med eksperter i andre forretningsområder. Over 50 kollegaer er involvert i markedsanalyse i Statkraft.

Scenarioet kombinerer en global energibalansmodell og en europeisk energisystemmodell med detaljerte kraftmarkedsmodeller i de landene vi er aktive. Statkraft modellerer kraftmarkeder i detalj, time for time, for Norden, Europa, India og land i Sør-Amerika fram mot 2050. Den europeiske energisystemmodellen forutsetter at de mest samfunnsoptimale løsningene for Europa blir valgt. Kostnadsoptimeringen gjøres på tvers av regioner og sektorer.

For Europa er analysene utført av Statkraft i samarbeid med T. Burandt, K. Hainsch, og K. Löffler (Technische Universität Berlin), basert på en videreutviklet versjon av GENeSYS-MOD ("Designing a Model for the Global

Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS)" av Konstantin Löffler, Karlo Hainsch, Thorsten Burandt, Pao-Yu Oei, Claudia Kemfert, og Christian Von Hirschhausen (2017).

For energirelaterte CO₂-utslipp er analysene utført av Statkraft i samarbeid med Forskningsdirektør Glen Peters, Cicero og klimascenariene er hentet fra IAMC 1.5°C Scenario Explorer fra IIASA (versjon 1.1) (<https://data.ene.iiasa.ac.at/iadc-1.5c-explorer/>), analysert i Rogelj, Shindell, et al, Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development, i "Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR15)", Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneve, 2018 (<http://www.ipcc.ch/sr15/>), Statkraft analyser og IEA World Energy Outlook 2019.

Covid-19 og forutsetninger rundt global energietterspørsel

Utgangspunktet for analysene er en økonomisk vekst og befolkningsvekst i tråd med en markedskonsensus, med lite avvik fra IEA World Energy Outlook 2019 sine anslag pre-Covid-19. Globale parametere er kalibrert til historiske data i tråd med IEA World Energy Outlook 2019.

I Lavutslippsscenarioet har vi lagt til grunn at den globale økonomien vil være svekket i flere år etter Covid-19 pandemien. Selv om vekstraten i økonomien kommer tilbake, forventes den globale økonomien og energietterspørselen å holde seg lavere over hele perioden sammenlignet med forventningene før Covid-19-pandemien. Over perioden mot 2050 får pandemien etter hvert mindre effekt. Det er ikke lagt til grunn at Covid-19 tiltakene fører til større permanente adferdsendringer etter at restriksjonene fjernes og pandemien er over. Dette kan gi større varige effekter på energisystemene enn vi har lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet. Usikkerheten er stor og omstillingsfarten kan både økes og svekkes som følge av permanente endringer etter Covid-19.

- 1 World Economic Forum (2020). *The Global Risk Report 2020*: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020>
- 2 Schiefloe, Per M. (2020). *Covid-19 – et «wicked problem»*: <https://www.universitetsavisa.no/incoming/2020/04/16/%E2%80%8BCovid-19-%E2%80%93-et-%C2%ABwicked-problem%C2%BB-21591594.ece>
- 3 IMF (2020). *World Economic Outlook Update*, June 2020: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/06/24/WEOUpdateJune2020>
World Bank (2020). *Global Economic Prospects*: <https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects>
- 4 IPCC (2019). *Climate Change and Land*: <https://www.ipcc.ch/srccl/>
IPCC (2019). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*: <https://www.ipcc.ch/srocc/>
- 5 World Meteorological organization (2020). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211
- 6 Bjerknes Center for Climate Research (2020): <https://www.bjerknes.uib.no/index.php/>
- 7 World Meteorological Organisation (2020). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211
- 8 Center for climate and energy solutions (2020). *Global emissions*: <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
IPCC (2014). *Fifth Assessment Report*: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
- 9 Global Carbon Project (2019). *Global Carbon Budget*: <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/19/highlights.htm>
IEA (2020), *Global Energy Review 2020*: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- 10 Quéré, C. et al. (2020). *Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement*: <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0797-x>
- 11 World Health Organisation (2018). *Air pollution*: <https://www.who.int/news-room/air-pollution>
- 12 IRENA (2020). *Global Renewables Outlook, edition: 2020*: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>
- 13 IEA (2020). *Global energy-related CO2 emissions, 1900-2020*: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-1900-2020>
- 14 UNFCCC (2020). *The Paris Agreement*: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- 15 European Commission (2019). *A European Green Deal*: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- 16 Eurostat (2020). *Preliminary flash estimate for the second quarter of 2020*: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/11156775/2-31072020-BP-EN.pdf/cbe7522c-ebfa-ef08-be60-b1c9d1bd385b>
- 17 European Council (2020). *A recovery plan for Europe*: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/eu-recovery-plan/>
- 18 Frankfurt School-UNEP Centre/Bloomberg New Energy Finance (2020). *Global trends in renewable energy investment 2020*: https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf
- 19 Ibid
- 20 IEA (2020). *World Energy Investment 2020*: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>
- 21 Frankfurt School-UNEP Centre/Bloomberg New Energy Finance (2020). *Global trends in renewable energy investment 2020*: https://www.fs-unep-centre.org/wp-content/uploads/2020/06/GTR_2020.pdf
- 22 IEA (2020). *World Energy Investment 2020*: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>
- 23 IRENA (2020). *Global Renewables Outlook, edition: 2020*: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>
- 24 IEA (2020). *Global Energy Review 2020*: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- 25 Ember (2020). *Renewables beat fossil fuels*: <https://ember-climate.org/project/renewables-beat-fossil-fuels/>
Tallene i Embers analyse er hentet fra ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity)
- 26 BNEF (2020). *Covid-19 Indicators: Sustainability*: <https://www.bnef.com/core/insights/23863?query=eyJxdWVyeSI6ImNvdmlkIDE5IGluZGijYXRvcnMILCJwYWdlljoxLjJvcml6I6InJlbGV2YW5jZSJ9>
- 27 Blackrock (2020). *A Fundamental Reshaping of Finance*: <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter>
- 28 European Commission (2018). *Frequently asked questions about EU taxonomy & EU green bond standard*: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/200610-sustainable-finance-teg-taxonomy-green-bond-standard-faq_en.pdf
European Council (2019). *Regulation Of The European Parliament And Of The Council*: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14970-2019-ADD-1/en/pdf>
- 29 World Economic Forum (2019, 2020). *The countries most ready for the global energy transition*: <https://www.weforum.org/agenda/2019/03/the-countries-most-ready-for-the-global-energy-transition/>
Fostering Effective Energy Transition 2020 edition: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2020_Edition.pdf
- 30 The Institute for Energy Research (2020). *Germany and France Ramp Up Electric Vehicle Incentives*: <https://www.instituteforenergyresearch.org/international-issues/germany-and-france-ramp-up-electric-vehicle-incentives/>
- 31 Energypolicytracker (5. August 2020). *Track public money for energy in recovery packages*: <https://www.energypolicytracker.org/>
- 32 BNEF (2020). *BNEF Executive Factbook*: <https://www.bnef.com/insights/22911/view>
- 33 Cockburn, H. (2020). *Britain goes coal-free for two months – longest period since industrial revolution*: <https://www.independent.co.uk/environment/britain-coal-free-industrial-revolution-renewable-energy-climate-change-a9556011.html>
- 34 Shearer, C. et al. (2020). *Boom and Bust 2020: Tracking The Global Coal Plant Pipeline*: https://endcoal.org/wp-content/uploads/2020/03/BoomAndBust_2020_English.pdf
Ember (2020). *Renewables beat fossil fuels*: <https://ember-climate.org/project/renewables-beat-fossil-fuels/>
- 35 For flere detaljer rundt fleksibilitet og løsninger, se *Statkraft Lavutslippsrapport 2018*: <https://www.statkraft.no/globalassets/explained/statkrafts-lavutslippsscenario-rapport-2018-v3.pdf/>
- 36 European Commission (2018). *EU coal regions: opportunities and challenges ahead*: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/eu-coal-regions-opportunities-and-challenges-ahead>
Morris, A. C. et al. (2019). *The risk of fiscal collapse in coal-reliant communities*: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2019/05/Morris_Kaufman_Doshi_RiskoffiscalCollapseinCoalReliantCommunities-CGEP_Report_FINAL.pdf
- 37 Shearer, C. et al. (2020). *Boom and Bust 2020: Tracking The Global Coal Plant Pipeline*: https://endcoal.org/wp-content/uploads/2020/03/BoomAndBust_2020_English.pdf
CarbonBrief (2020). *Analysis: Will China build hundreds of new coal plants in the 2020s?*: <https://www.carbonbrief.org/analysis-will-china-build-hundreds-of-new-coal-plants-in-the-2020s>
- 38 Kong, B. et al. (2019). *Globalization as Domestic Adjustment: Chinese Development Finance and the Globalization of China's Coal Industry*: <https://www.bu.edu/gdp/files/2019/04/GCI-GDP:WP6-Globalization-as-Domestic-Adjustment-Kong-Gallagher.pdf>
- 39 OECD (2019). *Low and zero emissions in the steel and cement industries*: https://www.oecd.org/greengrowth/GGSD2019_IssuePaper_CementSteel.pdf
- 40 European Commission (2020). *A New Industrial Strategy for Europe*: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-eu-industrial-strategy-march-2020_en.pdf
- 41 European Commission (2018). *In-depth analysis in support of the commission communication com(2018) 773*: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf
- 42 Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020). *The National Hydrogen Strategy*: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>
European Commission (2018). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- Olje- og energidepartementet og Klima- og miljødepartementet (2020). *Regjeringens hydrogenstrategi*: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/regjeringens-hydrogenstrategi-pa-vei-mot-lavutslippssamfunnet/id2704860/>
- 43 Berman, B. (2020). *Volvo CEO: Pandemic will rapidly accelerate shift to electric cars*: <https://electrek.co/2020/05/14/volvo-ceo-pandemic-will-rapidly-accelerate-shift-to-electric-cars/>
Miller, J. (2020). *Europe eclipses China in electric vehicle investment*: <https://www.ft.com/content/aeb8f9a1-68ba-4281-b1f4-107b2f5ed129>
- 44 Transport & Environment (2020). *Can electric cars beat the COVID crunch?*: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_05_Can_electric_cars_beat_the_COVID_crunch.pdf
- 45 IRENA (2020). *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>

- 46 Grafer er utarbeidet av Forskningsdirektør Glen Peters, Cicero og hentet fra *IAMC 1.5°C Scenario Explorer* hosted by IIASA (release 1.1) (<https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer/>), analysert i Rogelj, Shindell, et al, *Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development*, i "Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR15)", *Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2018* (<http://www.ipcc.ch/sr15/>).
Andre kilder: Statkraft analyser, IEA WEO19.
- 47 Energisystemmodellen for Europa er basert på en videreutviklet versjon av GENeSYS-Mod utviklet av Technische Universität Berlin "Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS)" av Konstantin Löffler, Karlo Hainsch, Thorsten Burandt, Pao-Yu Oei, Claudia Kemfert, og Christian Von Hirschhausen (2017).
- 48 European Commission (2018). *2050 long-term strategy*: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

den Elzen, M. et al. (2018). *Global and Regional Greenhouse Gas Emissions Neutrality*: <http://www.pbl.nl/en/publications/global-and-regional-greenhouse-gas-emissions-neutrality>

European Commission (2020). *Global Energy and Climate Outlook 2019*: <https://ec.europa.eu/jrc/en/geco>
- 49 The World Bank (2020). *Carbon Pricing Dashboard*: <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/>
- 50 European Commission (2018). *EU Emissions Trading System (EU ETS)*: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en
- 51 Olterman, P (2014). *North-south divide threatens Germany's renewable energy highway*: <https://www.theguardian.com/world/2014/feb/07/north-south-divide-threatens-germany-renewable-energy>

BNEF (2020). *Dong Says German Grid Delay Risks Confidence in Offshore Wind*: <https://www.bnef.com/core/news/519235>
- 52 Gregersen, T. et al. (2019). *Hva mener folk om vindkraft på land og til havs?:* <https://energiogklima.no/nyhet/vindkraft-pa-land-og-til-havs-nordmenns-holdninger/>

CICERO (2019). *Folk og klima: Nordmenns holdninger til klimaendringer, klimapolitikk og eget ansvar*: <https://pub.cicero.oslo.no/cicero-xmli/bitstream/handle/11250/2634149/Rapport%202019%2020%20HQweb.pdf?sequence=6&isAllowed=y/>

Rønningsbakk, I. E. (2019). *CICERO-forskere gir råd om norsk vindkraftbygging*: <https://www.cicero.oslo.no/no/posts/nyheter/cicero-forskere-gir-raad-om-norsk-vindkraftbygging>



Statkraft AS
Postboks 200 Lilleaker
0216 Oslo
Tel: +47 24 06 70 00
Besøksadresse: Lilleakerveien 6

www.statkraft.no

For pressehenvendelser:
Lars Magnus Günther
lars.gunther@statkraft.com

For spørsmål om rapportens innhold:
Mari Grooss Viddal
mari.viddal@statkraft.com

