

LAVUTSLIPP SCENARIO

2021

Innhold

Klimaomstilling med en mer kompleks grønn agenda	3
Klimakrisen kommer nærmere	7
Covid-19 – en katastrofe som gir nye forutsetninger for energimarkedene	8
COP26 - stadig flere sikter mot netto null	9
Fallende teknologikostnader og høye klimaambisjoner forsterker hverandre	13
EU har høye ambisjoner for en rask omstilling	14
"Fit for 55"	16
Karbonprising	16
Karbongrensemekansime	16
Revisjon av andre direktiver og reguleringer	17
Biden tar USA tilbake til Parisavtalen	17
Kina sikter på karbonnøytralitet i 2060	19
India satser på fornybar kraft og elbiler, mens klimaambisjonene er utydelige	20
En mer kompleks grønn agenda	21
Økende klimapress fra domstoler og finansmarkeder	24

Mot en fornybar og elektrisk verden **25**

Utslippskutt skjer i hovedsak gjennom elektrifisering	29
Utslippsreduksjon i bygninger gjennom elektrifisering og effektivisering	29
Utslippsreduksjoner i transport gjennom elektrisitet og hydrogen	31
Mer fornybar kraft til industrien	33
Kraftsektoren blir renere: sol- og vindkraft utkonkurrerer kull- og gasskraft	35
Alle fornybarteknologiene vokser	35
Fleksible løsninger gjør det mulig å dra nytte av billig kraft fra vind og sol	40
Lavutslippsscenarioet ligger an til å følge en 2-graders utslippsbane	45

Hydrogen er nøkkelen til null utslipp **47**

Hydrogen blir nødvendig for å komme til nullutslipp	49
Hydrogenetterspørsel - hvert bruksområde møter ulik konkurranse	50
Utslippsfritt hydrogen i transport	52
Utslippsfritt hydrogen i industri	53
Utslippsfritt hydrogen i bygg	54
Hydrogen møter konkurranse i alle sektorer	54
Hydrogenproduksjon og samspillet med kraftmarkedet	55
Hydrogenproduksjon tilkoblet kraftnettet er oftest mest optimalt	56
Kraftprisvariasjonene vil gjøre det lønnsomt å bygge ut infrastruktur for lagring og transport	57
Ulike lager og transportløsninger gir ulik kostnad for grønt hydrogen levert – sammenligning av fire case for Tyskland i 2050	59
Hydrogen bidrar til utslippsfri, fleksibel kraftproduksjon når alternativene er få	61
Grønn hydrogenproduksjon og hydrogeninfrastruktur kan komplementere kraftnettutbygging	61
Utslippsfritt hydrogen avgjørende for en utslippsfri verden	62
Oppsummering	66

Anneks og kilder **67**

Anneks	67
Kilder	69

Oppsummering av Statkrafts Lavutslippsscenario 2021



Lavere kostnader for grønne teknologier sammen med sterkere klimapolitikk vil resultere i CO₂-utslipp i tråd med en 2-gradersbane. Å stoppe den globale oppvarmingen på 1,5 grader vil imidlertid kreve en betydelig økning i både politiske ambisjoner og tempo i det grønne skiftet.



Regionale hydrogenmarkeder og sesonglagring blir stadig mer attraktive med økende kraft fra sol og vind.

40 %

2020 var et godt år for elbiler. Det globale salget av batterielektriske biler økte med 40 % selv om det totale bilsalget falt.

2050

I 2020 ble det rekordhøy utbygging av sol- og vindkraft. Men vi må installere mer enn dobbelt så mye hvert år til 2050 for å begrense den globale oppvarmingen til to grader.

60 %

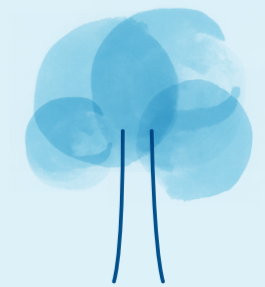
Kostnadene for elektrolyser vil falle med 60% innen 2050. Fallende kostnader for fornybar energi og elektrolyser vil gjøre grønt hydrogen stadig mer attraktivt.



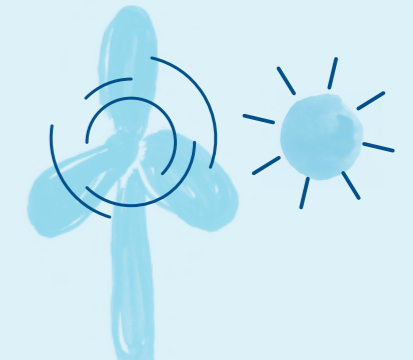
Hydrogen vil spille en betydelig rolle i energisystemet i 2050. I Lavutslippsscenarioet øker etterspørselen etter kraft med ti prosent i 2050 på grunn av grønn hydrogen produksjon



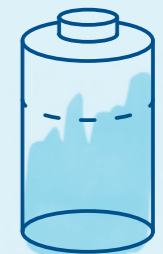
Grønne investeringer økte i 2020 til tross for den økonomiske nedgangen forårsaket av pandemien. Investeringene i fornybar kraft var (7%) høyere i 2020 enn i 2019.



Grønt hydrogen er nødvendig for å begrense klimaendringene til nivåene i Parisavtalen.



Solkraftkapasiteten vil vokse med en faktor på 21, og vindkraften med en faktor på 7 fra i dag til 2050.



Sol- og vindkraft vil levere om lag to tredjedeler av det globale kraftsystemet.



Elektrifisering er det viktigste virkemiddelet for å redusere CO₂-utslipp. Andelen elektrisitet i sluttbruk av energi vil mer enn doble seg til 2050.



Det grønne skiftet trenger større fart

Christian Rynning-Tønnesen

Vi står midt i en fornybarrevolusjon. Solkraft og vindkraft står stadig sterkere i konkurransen om å tilby verden rimelig fornybar energi, og vannkraft får en stadig viktigere rolle som utslippsfri og fleksibel ressurs. Stormakter fra øst til vest forsterker sine klimaambisjoner, og Europa ligger i tet. Presset øker for utslippskutt i industri, transport og bygg. Nye, fornybare energiformer som grønt hydrogen seiler opp som en del av løsningen. Utviklingen går fort, men den må gå enda raskere.

For sjette året på rad utgir vi Statkrafts Lavutslippsscenario – vår analyse av verdens energi fram mot 2050.

Statkrafts Lavutslippsscenario har tidligere skilt seg fra andre energianalyser ved sin optimisme, fordi det viste at markedene – understøttet av en forutsigbar klimapolitikk – kan bidra til betydelig energiomstilling og kutt i klimagassutslipp. Samtidig er analysen realistisk, fordi den ikke legger til grunn en aggressiv global klimapolitikk eller gjennombrudd av ukjente teknologier.

I dag ser vi at Lavutslippsscenarioet synes å være realistisk, fordi de sterke markedstrendene fortsatte. Utviklingstrekk som ble vurdert som optimistiske for kort tid siden blir nå ansett som mer konvensjonelle.

Kombinasjonen av sterk markedsutvikling og forutsigbar klimapolitikk kan ta oss langt. Den kan kutte utslippene og bringe verden i tråd med en 2-gradersbane. Årets analyse har aldri vist så lave energirelaterte CO₂-utslipp. Men det er likevel ikke nok. Dersom trendene fortsetter slik Lavutslippsscenarioet anslår, vil utslippene være i tråd med FNs klimapanel 2-graders utslippsbaner.

Nå er jordens temperatur 1,1 grader varmere enn førindustriell tid, og allerede ser vi klimaendringer i form av ekstrem hete, branner og voldsomme flommer. FNs klimapanel 2021 hovedrapport, som kom i august, gjorde det enda tydeligere hvor dramatiske endringer verden står overfor dersom jordens temperatur øker med to, tre eller fire grader. Hver desimal teller. Å begrense oppvarmingen til 2 grader er ikke nok. Vi må så langt ned mot 1,5 grader som mulig.

Da koronapandemien rystet oss alle i 2020 og sendte en hel verden i lockdown, gikk CO₂-utslippene ned med seks prosent. For å nå Paris-avtalens temperaturmål om «helst» 1,5 grader,

må utslippene falle like mye – hvert eneste år. Å begrense oppvarmingen til to grader vil kreve mye politisk: Høye karbonpriser og en omstilling til fornybar energiforsyning til folks bolig, transport og arbeid. Men å nå 1,5 grader vil kreve en ytterligere og kraftfull forsterkning av klimapolitikk som følges opp av faktisk handling. Sammenlignet med Lavutslippsscenarioet vil en 1,5-gradersbane kreve enda mer av alt, og det må skje mye raskere.

Med økte klimaambisjoner går fokus videre fra fornybar kraft og elbiler, der dagens politikk sammen med marked og teknologi allerede i dag driver mye av omstillingen, til andre sektorer som industri og langtransport, der utslippskutt er mer krevende. Disse sektorene vil kreve enda mer politisk tilrettelegging. I disse sektorene vil utslippsfritt hydrogen bli viktig for å nå klimamålene. Utslippsfritt hydrogen er allerede en viktig klimaløsning i Statkrafts Lavutslippsscenario, men den må skaleres opp mye raskere for en 1,5-graders utslippsbane. I årets Lavutslippsscenario har vi derfor valgt å se særskilt nærmere på hydrogen.

I første kapittel ser vi nærmere på utviklingstrekk som har funnet sted det siste året. Det gir blant annet en beskrivelse av klimapolitikk i sentrale deler av verden. Vi ser at dagens politikk i flere land kan bidra til å realisere Lavutslippsscenarioet, men dersom vi skal nå 1,5 grader, er det behov for politikk som gir en raskere implementering av nullutslippsløsninger.

I andre kapittel skisseres selve Lavutslippsscenarioet som viser at vi trenger alle fornybarkildene – sol, vind og vann – for å nå klimamålene. Og det haster. I tredje kapittel ser vi nærmere på utslippsfritt hydrogen, som blir stadig viktigere etter hvert som verden nærmer seg netto nullutslipp.

Verden tar riktige og viktige steg i retning av en grønn omstilling, men tempoet må økes. Årets Lavutslippsscenario viser at den raske innfasingen av fornybar energi og grønne løsninger bidrar til store utslippskutt. Men optimismen i årets rapport ligger også i løsningene vi ser nærmere på mot slutten av rapporten, nemlig utslippsfritt hydrogen.

Vi håper vårt Lavutslippsscenario kan øke forståelsen av hvor vi står i dag, og hva som må til i omstillingen til en grønnere energiverden.

• Norge er i en særstilling i verden med en høy andel
• fleksibel vannkraft og en allerede utslippsfri kraftsektor

1

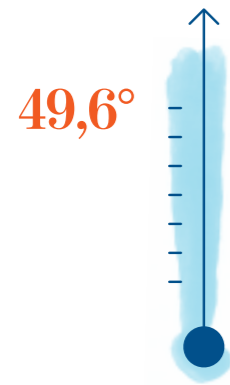
KLIMAOMSTILLING
MED EN MER
KOMPLEKS
GRØNN AGENDA



Energiverden etter pandemien: Klimaomstilling med en mer kompleks grønn agenda

I dette kapitlet ser vi nærmere på utviklingstrekk som har funnet sted det siste året. Det omfatter den siste tidens ekstremvær og FNs klimapanel sin forklaring av konsekvensene av ulike utslippsbaner. Kapitlet gir også en oversikt over utviklingen i klimapolitikken i sentrale deler av verden. Vi ser at dagens politikk kan bidra til at premissene i Lavutslippsscenarioet kan være til stede. Både i Europa, USA, Kina og India er det lovende utviklingstrekk som støtter opp under omstillingen. Men gjennomgangen i dette kapitlet viser også at det ikke foregår en tilstrekkelig kraftfull omstilling i dag. Dersom vi skal nå 1,5 grader er det behov for politikk som raskere implementerer ulike nullutslippsløsninger. En slik løsning er utslippsfritt hydrogen som er nærmere beskrevet i kapittel 3.

..... **Klimapolitikken er forsterket** den siste tiden, men det er foreløpig ikke nok til å nå 1,5-gradersmålet



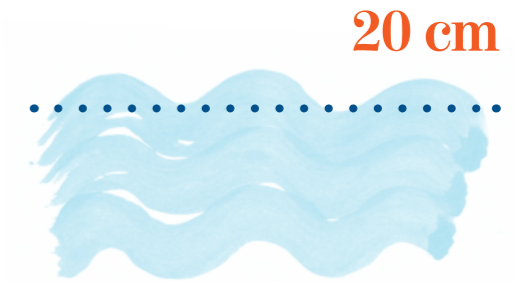
I Canada ble det målt 49,6 grader celsius i juni, som er ny rekord



I slutten av juli i år var det over 80 skogbranner i vestre USA



I løpet av tre dager kom det tilsvarende et års nedbør i Zhengzhou, i Kina



Mellom 1901 og 2018 har det gjennomsnittlige havnivået steget med 20 cm, og havet stiger stadig raskere

Klimakrisen kommer nærmere

I skyggen av pandemien ble 2020 et historisk varmt år og markerte slutten på det varmeste tiåret noensinne målt. Dermed fortsatte trenden med at hvert tiår siden 1980 er varmere enn det foregående. I dag estimeres den globale temperaturen til å være omtrent 1,1 grader varmere enn førindustriell tid. Vi har i dag en bedre kjennskap til hvilke konsekvenser økt temperatur kan ha, og det er stadig klarere at klimagassutslipp risikerer å forårsake skader som er umulige å reparere¹.

Denne sommeren har vi fått nok et innblikk i hvordan været kan bli med økende temperatur. På vestkysten av USA og Canada har det vært en kraftig hetebølge. I Canada ble det målt 49,6 grader celsius i juni, noe som er en ny rekord. Høye temperaturer og lite regn har ført til en rekke skogbranner og i slutten av juli var det over 80 skogbranner i vestre USA. Sibir har også denne sommeren opplevd usedvanlig kraftige skogbranner som følge av en hetebølge med temperaturer over 35 grader. Kraftig skogbrann inntraff også Brasil og Hellas².

Økte temperaturer medfører også kraftigere regnvær. I Kina melder lokale myndigheter i Zhengzhou om over 300 dødsfall etter kraftig regnvær og påfølgende flommer i sommer. I løpet av tre dager kom det tilsvarende ett års nedbør. Det har også vært kraftig nedbør og flommer i Europa. Særlig Tyskland og Belgia ble hardt rammet. I India omkom over 100 personer som følge av at kraftig regn utløste jordskred og førte til flom³. Det har vært flere ekstremværhendelser i tillegg til de vi har beskrevet her. Isolert sett er det vanskelig å tilskrive en enkelthendelse

til klimaendringer, men forskningen på området går framover. Hetebølger tilsvarende den i Canada bedømmes for eksempel å være 150 ganger mer sannsynlige i dag med 1,1 graders oppvarming relativt til førindustriell tid⁴.

9. august i år la FN's klimapanel (IPCC) frem første delrapport i den sjettede hovedrapporten. Denne inneholder oppdatert naturvitenskapelig grunnlag om klimaendringer. Rapporten konstaterer at vi allerede i dag opplever konsekvensene av et endret klima. Siden 1950 har det vært en økning i nedbør over land, og økningen har akselerert etter 1980. Det har også vært en økning i ekstreme hetebølger siden 1980. Ifølge IPCC vil dette forsterkes med ytterligere oppvarming. Ved 2 graders oppvarming vil ekstreme hetebølger gå fra å komme hvert tiende år, til å inntreffe oftere enn hvert andre år. I tillegg vil de ekstreme hetebølgene bli varmere og ekstrem nedbør blir kraftigere⁵.

IPCC mener det er mulig å begrense oppvarmingen til 1,5 grader, men det vil kreve en umiddelbar, kraftig og rask omstilling. Det vil uansett være behov for å tilpasse samfunnet til et endret klima. Selv i de mest optimistiske scenariene hvor vi lykkes med å begrense oppvarmingen vil det være behov for tilpasning. I Norge vil regulering av vassdrag i forbindelse med vannkraft bidra til å begrense skadevirkning fra mer ekstremt vær, særlig ved å ta unna for ekstreme vannmengder i forbindelse med flom. Selv om det vil være behov for tilpasning til eksisterende klimaendringer, kan ikke dette erstatte utslippskutt. Derfor vil en omfattende, rask og kraftfull klimapolitikk være nødvendig.

Det at vi i stadig større grad må leve med konsekvensene av klimaendringene tett på kroppen, kan over tid påvirke velgernes syn på klimapolitikk. I tillegg fører mer ekstremvær til at konsekvensene av klimaendringene tar en større plass i mediebildet og kommer høyere på den politiske agendaen. Store materielle skader vil føre til at kostnadene fra klimaendringer blir tydeligere for alle. I Europa har klima vært blant de viktigste sakene for velgere i flere år. I årets utgave av Eurobarometer fra mars og april 2021 svarte over ni av ti at klimaendringer er et stort eller veldig stort problem og at de støtter en europeisk ambisjon om netto nullutslipp i 2050. Dette er sentralt, fordi det er behov for legitimitet og oppslutning for å kunne gjennomføre en ambisiøs klimapolitikk⁶.

Covid-19 – en katastrofe som gir nye forutsetninger for energimarkedene

Hittil har 2020 og 2021 vært sterkt preget av Covid-19-pandemien. I september 2021 var over 200 millioner mennesker bekreftet smittet og over 4,7 millioner bekreftet døde. De reelle tallene er trolig høyere. Energimarkedene har blitt påvirket av pandemien, men til tross for økonomisk tilbakegang økte investeringene i grønne teknologier globalt.

Den politiske responsen på pandemien har variert mellom land, men over hele verden har det i perioder vært innført kraftige tiltak for å begrense spredning av viruset. Strengt tiltak innført av myndigheter og endret adferd av frykt for smitte har medført en kraftig økonomisk nedgang. IMF anslår at den globale økonomien krympet med 3,2 prosent i 2020.

Også energimarkedene har blitt påvirket av pandemien. I 2020 falt energietterspørselen med fire prosent, mens etterspørselen etter olje falt mest med ni prosent. Så langt i 2021 har vi sett en økning i økonomisk aktivitet igjen etter hvert som samfunnene har åpnet mer opp, noe som også gjenspeiler seg i høyere etterspørsel etter energi⁷.

Til tross for den økonomiske tilbakegangen i 2020, økte investeringene i grønne teknologier globalt. Investeringer i fornybar kraftproduksjon økte med syv prosent. Det var også en økning på 28 prosent i investeringer i elbiler og ladeinfrastruktur i 2020. I tillegg var det relativt store investeringer i varmepumper, batterier, hydrogen, og karbonfangst og -lagring⁸.

Vi ser at synet på statsgjeld har endret seg siden finanskrisen. Under koronapandemien har det i større grad vært aksept for å stimulere økonomien med økt statlig pengebruk. Blant annet har Det internasjonale pengefondet (IMF) oppfordret land til ikke å avslutte støttetiltakene for tidlig. I USA ble det i 2020 vedtatt en rekke krisepakker som bidro til et rekordstort budsjettunderskudd på 14,9 prosent av BNP. For 2021 er det forventet at underskuddet vil bli på over ti prosent av BNP. I Europa er det blitt enighet om at deler av EUs krisepakke på 750 milliarder euro skal lånefinansieres ved at EU-kommisjonen utsteder obligasjoner. At EU-kommisjonen har fått tillatelse av medlemslandene til å ta opp egne lån er en stor endring i EUs rammeverk. Utviklingen mot mer statlig pengebruk ser ut til å ha blitt forsterket av Covid-19. Mange av krisepakkene har mål om både å gjenstarte økonomien, kutte klimagassutslipp og bidra til en bærekraftig utvikling i en bred betydning. Det er delte meninger om hvor grønne krisepakkene har vist seg å være. Mange inneholder støtte til investering i fornybar energi, grønn teknologi og infrastruktur. Samtidig har også mye av støtten gått til eksisterende næringer, eksempelvis flyindustrien, med store utslipp. Politisk er det en krevende avveining mellom å bidra til å holde økonomien i gang og gi innbyggerne økonomisk sikkerhet i en pandemi, og det å tilrettelegge for omstilling⁹.

Større rom for offentlig pengebruk kan på kort sikt gjøre det lettere å finansiere klimatiltak. Det gir også større rom for å kompensere de som taper på omstillingen. Det er likevel viktig at klimapolitikken som føres er målrettet og kostnadseffektiv. En omstilling til et lavutslippssamfunn krever store investeringer med både offentlige og private midler.

Dette kan lettere gjennomføres med solide offentlige budsjetter og stabile rammevilkår. En sterk økonomi vil også gjøre det lettere å skape nye jobber for de som må omstille seg og å støtte de som faller utenfor.

COP26 - stadig flere sikter mot netto null

Parisavtalen, som trådte i kraft i 2020, bygger på at verdens land hvert femte år skal oppdatere klimamålene sine og påta seg større ambisjoner, og at landene skal jobbe for å begrense oppvarmingen til godt under 2 grader og ned mot 1,5 grader. Selv om dagens nasjonale ambisjoner ikke er tilstrekkelig til å begrense oppvarmingen til 1,5 grader, kan en gradvis forsterkning av den globale klimapolitikken ta verden i retning av målet om å begrense oppvarmingen. I oktober 2018 publiserte FNs klimapanel (IPCC) en spesialrapport om 1,5 graders-målet. Den konkluderte med at globale utslipp av CO₂ må nå netto null rundt midten av dette århundre for å kunne begrense global oppvarming til 1,5 grader. Dette ble igjen understreket i IPCCs rapport i august 2021¹⁰.

Inn mot klimatoppmøtet (COP26) i Glasgow i november i år har flere store land annonsert langsiktige mål om netto null klimagassutslipp. Land som har vedtatt eller diskuterer netto-nullambisjoner står per i dag for to tredjedeler av verdens klimagassutslipp. I tillegg til langsiktige mål har flere land økt ambisjonsnivået på kortere sikt¹¹.



Andorra
Argentina
Barbados
Bhutan
Brasil
Canada
Chile
China
Colombia
Costa Rica
Den Dominikanske
EU
Fiji
Grenada
Indonesia

Island
Jamaica
Japan
Kapp Verde
Kazakhstan
Laos
Malawi
Maldivene
Marshall-øyene
Mauritius
Monaco
Namibia
Nauru
Nepal
New Zealand

Norge
Panama
Republikk
Seychellene
Solomon-øyene
Sri Lanka
Storbritannia
Surinam
Sveits
Sør-Afrika
Sør-Korea
USA
Ukraina
Uruguay
Vatikanstaten



⋮ **Gjenplantning** av skogområder tas i bruk som klimatiltak

Tenketanken Climate Action Tracker anslår at med målene som er meldt inn under Parisavtalen, vil den globale oppvarmingen begrenses til 2,4 grader innen slutten av århundret. Dersom målene som er annonsert, men ennå ikke tatt inn i Parisavtalen oppfylles, vil oppvarmingen begrenses ned til 2 grader. Som IPCC igjen slo fast i august vil det være behov for enda raskere omstilling og massive utslippskutt dersom verden skal lykkes med å begrense oppvarmingen til 1,5 grad. Det forutsetter både at verdens land styrker de langsiktige målene, men også at dagens politikk må forsterkes slik at globale utslipp starter å falle rask¹³.

Netto nullutslipp i 2050 er isolert sett ikke nok. Hva vi gjør før og etter er også avgjørende for å begrense oppvarming til 1,5 grader. CO₂ blir værende i atmosfæren i flere hundre år etter at utslippet har skjedd, og derfor er det kumulative utslipp som bestemmer nivået på global oppvarming. Begrepet vi ofte bruker er karbonbudsjett som beskriver hvor mye CO₂ som kan slippes ut hvis den globale oppvarmingen skal begrenses til et visst nivå. Desto lenger tid vi bruker på å kutte i CO₂-utslipp, desto mer negative utslipp må vi ha.

Det er flere måter å oppnå negative utslipp gjennom CO₂-fjerning. En naturlig løsning er å absorbere CO₂ gjennom fotosyntese ved for eksempel skogplanting. Skogplanting er dog vanskelig fordi skogen må stå over lang tid for å bidra til permanent karbonlagring, som vil si at hogsten ikke kan være større enn tilveksten, i tillegg til at det må tas hensyn til biologisk mangfold. En annen, mer teknisk løsning, er bioenergi med karbonfangst og -lagring. Dette er dyrt og teknisk komplisert, i tillegg til at bioenergien trengs til sektorer som er van-

skelige å elektrifisere og den må komme fra bærekraftige kilder for at metoden skal være bærekraftig. Andre tekniske løsninger, som å fjerne CO₂ direkte fra atmosfæren, finnes i dag på demonstrasjonsstadiet, men er langt fra å kommersialiseres.

Virkemidler for å begrense CO₂ utslipp er forskjellige i ulike deler av verden, men noen klare utviklingstrekk er tydelige å se. Økt andel fornybar energi, særlig i kraftsektoren, er inkludert i mange lands løfter. En annen trend er at bruken av karbonprising og karbonmarkeder fortsetter å øke. I 2010 var i overkant av fem prosent av globale utslipp omfattet av karbonprising. I 2021 er over 20 prosent av globale utslipp priset og dette forventes å fortsette å øke. I dag er like-vel karbonprisen i mange tilfeller for lav til å alene drive investeringer i grønne teknologier¹⁴.

COP26 i Glasgow vil kunne gi en indikasjon på om det er vilje globalt til å forsterke klimapolitikken og om det er vilje til å begrense oppvarmingen ned mot 1,5 grader. Det er også knyttet spenning til om det blir enighet i diskusjonene som omhandler bruk av markeds mekanismer og samarbeid på tvers av land.

1

IEAs veikart til netto null og IPCC endrer klimadebatten.

Nylig har både IEA og IPCC kommet med rapporter som påvirker debatten om klima og energi.

I forkant av COP26 lanserte IEA en studie som ser på hvordan en overgang fra dagens energisystem til netto null i 2050 kan se ut. Den viser at det er mulig å begrense oppvarmingen ned mot 1,5 grad, men at det krever massiv og rask handling. Samtidig viser første del av IPCCs sjette hovedrapport at vi allerede opplever alvorlige klimaendringer, og at hver tiendedel med ytterligere oppvarming gir store negative konsekvenser.

Vi ser økende støtte til målet i Parisavtalen om å begrense oppvarmingen godt under to grader og ned mot 1,5 grad. En klimapolitikk med mål om å begrense oppvarmingen godt under 2 grader vil måtte være betraktelig kraftigere enn en politikk med mål om å begrense oppvarmingen til 2 grader.

Siden verden allerede har blitt 1,1 grad varmere er en stor del av karbonbudsjettet for 1,5 grader brukt opp. For å ha om lag 50% sjans for at temperaturøkningen skal bli under 1,5 grad må globale utslipp holdes under 500 GtCO₂. Tilsvarende tall for 2 grader er 1350 GtCO₂. Ved et mål om 1,5 grader mer enn halveres dermed karbonbudsjettet sammenlignet med 2 graders oppvarming.

Dette vil ha stor påvirkning på energi-markeder, klimapolitikk og klimadebatten. Siden utslippene av CO₂ er kumulative må utslippene kuttes langt raskere for at det skal være mulig å nå målet. Det vil også måtte nå null på et tidligere tidspunkt. Dermed får løsninger som hydrogen en mer fremtredende rolle.

Det har også stor effekt på etterspørselen etter fossil energi. Ifølge IEAs veikart er det ikke behov for å lete etter nye petroleumressurser dersom verden lykkes med å begrense oppvarmingen ned mot 1,5 grad. Der det tidligere var miljøorganisasjoner og tenketanker som påpekte motsetningen mellom leting etter nye fossile ressurser og 1,5 gradersmålet, har de nå fått støtte fra IEA. Både IEA sitt veikart til netto null og IPCC sin sjette hovedrapport blir viktige premissgivere inn til klimatoppmøtet i Glasgow i november.



Fallende priser på fornybar energi har gitt lavere utbygging av kullkraft enn forventet

Fallende teknologikostnader og høye klimaambisjoner forsterker hverandre

Flere land har satt mål om netto nullutslipp. Likevel er verden fortsatt ikke i tråd med ambisjonene i Parisavtalen. Selv om farten ikke er stor nok, har mye gått i riktig retning, og verden er nærmere å begrense oppvarmingen til 2 grader i dag enn ved starten av forrige tiår.

For ti år siden estimerte IEA at daværende politiske ambisjoner og teknologikostnader (Stated Policy Scenario) skulle lede til over 3,5 graders oppvarming. I november 2020 anslo IEA at et tilsvarende scenariodesign «kun» gir 2,7 graders oppvarming. Dette representerer en stor forbedring, men er fortsatt langt ifra Parisavtalens målsetting om godt under 2 graders oppvarming¹⁵.

En viktig driver for forbedringen har vært fallende priser på fornybar energi som sol- og vindkraft, noe som har gitt lavere utbygging av kullkraft enn forventet. Dette prispellet kommer som en konsekvens av at det i mange land har vært ført en aktiv klimapolitikk. Dersom temperaturøkningen skal begrenses ned mot 1,5 grader, må denne utviklingen fortsette og spres til flere sektorer.

Med fallende teknologikostnader blir det lettere å sette mer ambisiøse klimamål, og kostnaden ved å kutte utslipp blir lavere. Samtidig gir en sterkere klimapolitikk signal om å investere i utslippsfrie teknologier, noe som igjen bidrar til økt volum og fallende kostnader.

Denne dynamikken er sentral i Statkrafts Lavutslippsscenario. Et godt eksempel på dette var da det britiske klimarådet i 2019 beregnet kostnadene ved å forsterke det britiske klimamålet fra 80 prosent reduksjon i 2050 til netto null i 2050. Konklusjonen var at de kunne nå målet om netto null til samme kostnad. Siden 2008 har altså kostnadene for nullutslippsteknologier falt så drastisk at den anslåtte kostnaden ved å nå netto null i 2050 er den samme som den kostnaden de i 2008 anslo for å nå kun 80 prosent reduksjon innen samme tid¹⁶.

For mange teknologier vil det komme et vippepunkt hvor prisen på utslippsfrie teknologier faller så mye at markedsdynamikken i hovedsak driver utviklingen og der politikkenes rolle er å sette forutsigbare rammevilkår. Dette punktet kommer raskere når det settes en pris på klimagassutslipp i form av avgifter eller et kvotemarked. Når vi passerer disse vippepunktene, kan det gå raskt, men det krever målrettet og effektiv politikk.

Denne dynamikken får størst effekt når klimapolitikken er langsiktig og troverdig. Når politikere setter langsiktige klimamål som følges opp med politikk på kort sikt sender det et klart signal til markedet om å investere i tråd med at målene realiseres og at det vil skapes en etterspørsel etter nullutslippsteknologi.

Tre eksempler på teknologier hvor vi ser denne utviklingen er:

- Støtte til fornybar energi i en tidlig fase har drevet ned kostnader på fornybar teknologi og gjort det enklere og rimeligere å kutte utslipp i kraftsektoren. Støtte til fornybar energi i en tidlig fase har lett til teknologiutvikling og

Det blir lettere å sette mer ambisiøse klimamål når kostnaden ved å kutte utslipp blir lavere

drevet ned kostnader på fornybar teknologi. Det har gjort det enklere og rimeligere å kutte utslipp i kraftsektoren. Nå kan kraftmarkedet sammen med karbonprising være hoveddriver for avkarboniseringen av kraftsektoren. Det vil være vesentlig å fortsette og styrke karbonprisen, ha gode markedsdesign og legger til rette for gode infrastruktur løsninger.

- Politisk støtte til elektrisk transport har drevet ned kostnadene på batterier, og gjør at total kostnaden for en elbil er rimeligere enn tilsvarende bensin-/dieselbil i store deler av verden. Avkarboniseringen av persontransport kommer snart til å drives av markedskrefter, og politikkenes rolle blir å sørge for at rammevilkår og infrastruktur kommer på plass raskt nok.
- Politisk støtte til hydrogenproduksjon er i ferd med å drive ned enhetskostnaden på elektrolyser og gjør det enklere og rimeligere å redusere utslipp i industrien. På sikt vil også dette kunne være markedsdrevet.

Dynamikken blir mest kraftfull når politikken støtter opp omkring en teknologi som kan masseproduseres. Med en økt forutsigbarhet om utviklingen framover i tid, kan industrielle aktører tørre å bygge fabrikker og globale, effektive leverandørkjeder. Den positive spiralen mellom politikk og teknologi finnes også i mer komplekse teknologier som kjernekraft, og karbonfangst og -lagring. Her drives kostnadene ned av økt volum som følge av politiske beslutninger, mer standardisering og overføring av bestep praksis.

EU har høye ambisjoner for en rask omstilling

Den mest ambisiøse og dyptgripende klimapolitikken ser vi i dag i Europa. I desember 2019 annonserte presidenten i EU-kommisjonen, Ursula von der Leyen, EUs grønne giv (European Green Deal). Den er både en vekststrategi og en sektorovergripende plan for å gjøre Europa klimanøytralt i 2050.

Styrende for innholdet i EU sin grønne giv er 2050-målet om null klimagassutslipp og null forurensing. I juni 2021 vedtok Rådet og Parlamentet EUs første klimalov. Her ble det lovfestet utslippsmål på netto 55 prosent reduksjon innen 2030 og netto nullutslipp i 2050 med tilhørende karbonbudsjett¹⁷.

Med sin grønne vekststrategi ønsker EU å nå en rekke strategiske mål. I sentrum står behovet for å redusere klimagassutslipp. Men det skal også bidra til en bærekraftig utvikling hvor tapet av biologisk mangfold stanses og naturen bevares bedre enn i dag. Andre viktige mål er å skape nye og trygge jobber og å redusere behovet for å importere energi.

For å oppnå disse målene skal kraftproduksjonen bli fornybar og den fornybare kraften benyttes i sektorer hvor olje, kull og gass tidligere har vært dominerende. I tillegg skal Europas energisystem bli mer fleksibelt og effektivt. Den europeiske industrien skal kutte utslipp og bli mer ressurseffektiv. Dette skal også byggesektoren gjennom renovering og energieffektivisering av eksisterende og nye bygg. Samtidig skal produkter få lengre levetid og kunne resirkuleres bedre. I tillegg skal landbruket bli mer klima- og miljøvennlig, og arealbruken skal ta mer hensyn til naturen¹⁸.



- **Med sin grønne vekststrategi** ønsker EU å nå en rekke strategiske mål som å kutte klimautslipp, bidra til en bærekraftig utvikling, minke import av fossil energi og skape nye og trygge jobber.

“Fit for 55”

Skal ambisiøse klimamål være troverdige, må de følges opp av sterke virkemidler. 14. juli i år lanserte EU-kommisjonen “Fit for 55”, en omfattende lovpakke som skal tilpasse EUs lovgivning med forsterkede mål om netto-55 prosent reduksjon av utslipp innen 2030 fra 1990 og netto null innen 2050. “Fit for 55”-pakken er EUs hovedredskap for å følge opp og forankre enigheten om 2030 og 2050 klimamålene regulatorisk.

Pakken består av tolv lovforslag, hvorav to tredjedeler er oppdateringer og revisjoner av allerede eksisterende lover. Disse lovforslagene skal nå forhandles i EU de neste månedene før endelige lover kan tre i kraft¹⁹.

Karbonprising

Pakken viderefører og forsterker den sentrale rollen karbonprising har i EUs klimapolitikk. Regelverket om kvotemarkedet må balansere en rekke hensyn, blant annet: forutsigbarhet og stabilitet for aktørene, fordelingen av utslippskutt mellom medlemsland og sektorer, og muligheten for karbonlekkasje.

Hvert år reduseres den totale mengden tilgjengelige kvoter i EUs kvotemarked. Sentralt i revisjonen av karbonmarkedet er forslaget om å senke kvotetaket raskere. I følge forslaget skal kvotetaket senkes nesten dobbelst så raskt^{*} I tillegg foreslår EU-kommisjonen en engangs innstramning av kvotemarkedet på 117 millioner kvoter. For å sikre markedsbalansen foreslås det å videreføre den nåværende innretningen i Markedsstabiliseringsmekanismen (MSR) med noen justeringer.



Sammenlagt gir forslaget fra EU-kommisjonen en innstramning av kvotemarkedet slik at det gir en 61 prosent reduksjon av utslipp sammenlignet med 2005 innen 2030 for de sektorer som er inkludert i EUs kvotemarkedet.

EU-kommisjonen ønsker at flere nye sektorer på sikt omfattes av karbonprising, i tillegg til styrking av det eksisterende kvotemarkedet. I revisjonen foreslås det at skipsfart inkluderes i kvotemarkedet. EU-kommisjonen har også kommet med et omdiskutert forslag om å innføre et eget kvotemarked for transport- og varmesektoren. Disse sektorene har så langt vært utenfor karbonmarkedet, og det har vært et nasjonalt ansvar å komme opp med virkemidler for å kutte utslipp i disse sektorene. EU-kommisjonens forslag er at disse sektorene fra 2026 skal omfattes av egne kvotemarkeder som skal ligne det eksisterende kvotemarkedet i tillegg til å fortsette å være et nasjonalt ansvar.

Karbongrensemekansime

Et av de mest omtalte forslagene i “Fit for 55” er innføringen av en karbongrensemekansime (CBAM^{**}). Med økte karbonpriser får deler av europeisk industri en konkurranseulempe overfor bedrifter i land som ikke priser utslipp. Det kan enten være i form av at produksjonen medfører betydelige utslipp, at det er kraftkrevende prosesser som møter økt kraftpris som følge av høyere kvotepriser eller en kombinasjon av dette.

^{*} Tidligere har taket blitt senket med en lineær reduksjonsfaktor på 2,2 prosent per år. Nå foreslås denne økt til 4,2 prosent per år.

^{**} CBAM = Carbon Border Adjustment Mechanism



Ideen med CBAM er at varer som er produsert i områder uten en karbonpris, pålegges en avgift for å kompensere for dette før det kan selges i Europa. Dermed vil konkurransekraften i europeisk industri opprettholdes til tross for økende karbonpriser for produkter som selges i EU. I første omgang vil CBAM dekke elektrisitet, sement, gjødsel, aluminium og stål. Målet med CBAM er både å unngå karbonlekkasje og å legge press på land som handler med EU om å innføre en mer ambisiøs klimapolitikk.

Det er flere utfordringer knyttet til en slik ordning. For å unngå handelskonflikter må ordningen utformes på en måte som er i tråd med regelverket til Verdens handelsorganisasjon (WTO). Selv om en karbongrensemekanisme sikrer at varer i det europeiske markedet er omfattet av en karbonpris har industrien vært bekymret for at de vil kunne tape marked-sandeler utenfor EU. Dersom CBAM blir fullt implementert for direkte utslipp er det trolig at gratiskvoter gradvis fases ut for å være i tråd med WTO.

Revisjon av andre direktiver og reguleringer
Karbonprisingen komplementeres med en rekke andre virkemidler som skal bidra til en raskere omstilling og teknologiutvikling, blant annet en styrking av byrdefordelingsmekanismen som fastsetter nasjonale klimamål for sektorer utenfor kvotemarkedet. Disse sektorene foreslås nå å kutte utslipp med 40 prosent sammenlignet med 2005 innen 2030, en økning fra dagens mål på 30 prosent. EU-kommisjonens forslag til revidert fornybardirektiv setter et nytt bindende mål på europeisk nivå om fornybarandelen på 40 prosent innen 2030. Dette er en dobling av

dagens nivå, og betydelig høyere enn målet om 32 prosent fornybar i energimiksen i 2030 som ble lagt til grunn da Fornybardirektivet sist ble revidert i 2018.

EU-kommisjonen foreslår å øke andelen fornybar energi i industrien med 1,1 prosent per år frem til 2030. De har mål om 49 prosent fornybarandel i bygg i 2030, samt et delmål om at 50 prosent av energien til produksjon av hydrogen til industrien skal komme fra fornybar kraft. Energieffektiviseringsdirektivet revideres også med et nytt bindende mål om å redusere energibruken i EU med 39 prosent sammenlignet innen 2030. For transportsektoren har EU-kommisjonen foreslått et mål om at utslippene fra nybilsalg skal reduseres med 55 prosent innen 2030 og 100 prosent innen 2035, mens de foreslår en økning av klimamålet for ikke-kvotepiktig sektor fra 30 til 40 prosent fra 2005 for å få en bedre byrdefordeling.

Biden tar USA tilbake til Parisavtalen

Klimapolitikk har i lang tid vært en del av den politiske debatten i USA, men det har vært krevende å få klimapolitiske vedtak gjennom på føderalt nivå. Med Joe Biden i Det hvite hus er USA tilbake på den internasjonale klimascenen.

Under president Obama tok USA en ledende rolle i internasjonale klimaforhandlinger, og var sentrale i å fremforhandle Parisavtalen. Nasjonalt måtte Obama i stor grad bruke presidentordre for å få innført klimatiltak, siden det var krevende å få klimatiltak gjennom Kongressen. Av samme grunn ble også USAs innlemmelse

i Parisavtalen gjort med en presidentordre. Utfordringen med slike vedtak er at de kan reverseres av en ny president, uten å gå via Kongressen. En stor del av Obamas klima-agenda ble for eksempel reversert av Trump-administrasjonen. Klimapolitikken var imidlertid helt sentral i Bidens politiske plattform i fjorårets presidentvalgkamp. Han lanserte en rekke konkrete tiltak knyttet til grønn omstilling med fokus på å redusere utslipp i både energi- og transportsektoren, samt skape nye «bærekraftige» arbeidsplasser. Etter valget har Biden gjennomført en rekke presidentordre, blant annet har han tatt USA tilbake til Parisavtalen. Presidentordre ble også brukt for å øke USAs ambisjonsnivå til netto nullutslipp i 2050 og mål om 50 prosent reduksjon i utslipp i 2030 relativt til 2005²⁰.

Bidens «Green Deal» eller «American Jobs Plan» er nå klar til å passere Kongressen etter at den ble vedtatt i Senatet 10. august i år. Pakken er en omfattende infrastrukturpakke på 1 000 milliarder dollar, der 550 milliarder er nye midler. Opprinnelig var pakken på 2 250 milliarder dollar, men politisk uenighet reduserte størrelsen. Pakken inkluderer kraftige investeringer i veier, broer, jernbane, vannrør og bredbånd. Pakken inkluderer også grønne investeringer som 73 milliarder dollar til elektrisk nettmodernisering, 17 milliarder dollar til havneoppgraderinger som blant annet vil muliggjøre havvindutbygging, 9,5 milliarder dollar for å få ned kostnaden for rent hydrogen, og 7,5 milliarder dollar til elektrisk kjøretøynfrastruktur som elbilladere. Nå skal pakken videre til behandling i Representantenes hus hvor den kan vedtas av Demokratene med simpelt flertall²¹.

Delstatene spiller en sentral rolle i amerikansk klimapolitikk. Både i gjennomføring av føderal politikk, men også via egne klimamål, tiltak og reguleringer. Per dags dato har 24 amerikanske delstater dedikerte klimamål. Flere stater har også innført kvotesystem for å regulere utslipp. The Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) er et felles kvotemarked for utslipp knyttet til kraftsektoren, hvor 11 delstater på nordøstkysten er med. California har sitt eget kvotesystem, som er koblet sammen med Quebec i Canada²².

Uavhengig av om klimapolitikken hviler på karbonpris eller oppbygging av infrastruktur og næringspolitikk, er det helt sentralt at USA er tilbake som driver i klimapolitikken. Det vil være viktig å følge dynamikken mellom USA, EU og Kina under årets klimaforhandlinger, COP26, for å se om de tre blokkene klarer å drive klimaforhandlingene fremover.

2020 er det femte året investeringer i fornybar energi er større enn investeringene i kull i Kina.

Kina skal bli karbonnøytral i 2060

Kina har vært gjennom en kraftig industrialisering og har hatt en enorm økonomisk vekst de siste 30 årene. Dette har imidlertid gått på bekostning av miljø og klima.

Kina stod for 28 prosent av verdens samlede klimagassutslipp i 2019. Energisektoren (kraft og varme) stod for i overkant av 40 prosent av de nasjonale utslippene etterfulgt av industri med om lag 31 prosent. Kraftproduksjonen domineres av kull, men utbygging av fornybar kraftproduksjon har imidlertid bidratt til at fornybare kilder står for nærmere 30 prosent, hvor vannkraft utgjør litt mer enn halvparten²³.

Klima kom for alvor inn i den overordnede politikken med den 12. femårsplanen (2011-2015). Dette ble fulgt opp i den 13. femårsplanen (2016-2020) hvor grønn vekst for første gang ble oppgitt å være et av de viktigste satsingsområdene. Landet signerte Parisavtalen i 2016 og overrasket verden høsten 2020 da de kunngjorde mål om karbonnøytralitet innen 2060, og et mål om å øke andelen ikke-fossil energi til rundt 40 prosent av totalt forbruk innen 2030. I september 2021 annonserte president Xi Jinping at Kina vil stoppe finansiering av kullkraftverk utenfor Kinas grenser. Dette kan få store implikasjoner og påvirker nesten 60% av alle planlagte kullkraftverk utenfor Kina og India²⁴.

Klimapolitikken er også sentral i den siste femårsplanen (2021–2025), men det savnes fortsatt et absolutt tak for utslipp av klimagasser. Med et sterkt økende BNP og en energiintensiv økonomi, kan Kina nå sine mål i femårsplanen og fortsatt øke utslippene med ett til to prosent per år.

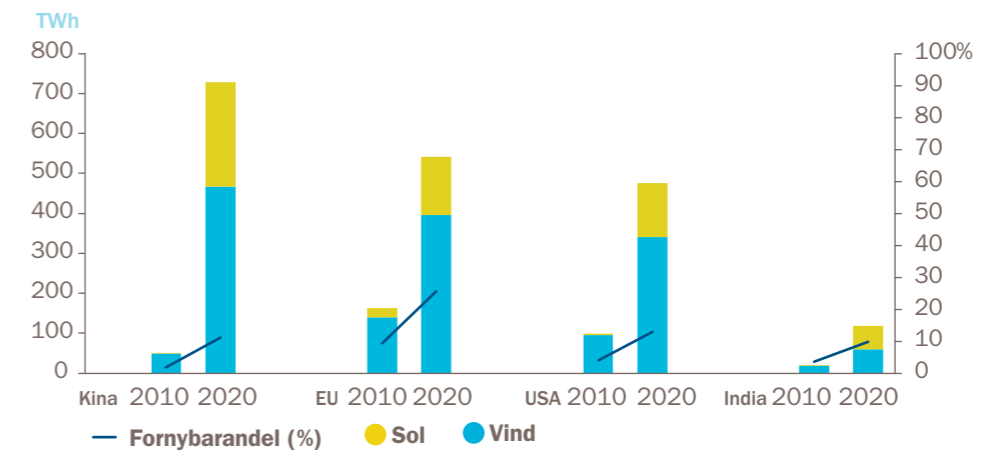
I løpet av 2020 ble 38 GW nye kullkraftverk ferdigstilt i Kina, omtrent ett i uken. Økningen av ny kullkapasitet i Kina tilsvarer nesten tre ganger så mye som resten av verden samlet²⁵.

Kina er verdensledende på fornybar energi både når det gjelder produksjon og bruk, særlig innen sol- og vindkraft. I dag er produksjonskapasitet fra vindkraft på 280 GW, 25 prosent mer enn Europa til sammen. Av denne produksjonskapasiteten er kun 9 GW havvind, i motsetning til Europa som allerede har installert 25 GW, men dette er nå en prioritert næring i vekst²⁶.

Innføringen av et nasjonalt kvotehandelssystem ble vedtatt allerede i 2015 på høyeste politiske nivå, og var del av landets klimamål i tilknytningen til Parisavtalen (NDC*). Etter dette ble det gradvis innført kvotemarkeder i noen delstater som pilotprosjekt. Nå har Kina slått sammen pilotene til et nasjonalt kvotehandelssystem som offisielt startet i juli 2021. Kvotehandelssystemet er estimert til å dekke mer enn fire milliarder tonn CO₂, tilsvarende 40 prosent av nasjonale karbonutslipp, og omfanget planlegges å utvides ytterligere i fremtiden. Dette blir dermed verdens største kvotehandelssystem. Kinas nasjonale kvotehandelssystem forventes å være et av de viktigste virkemidlene for å realisere landets klimambisjon både på kort og lang sikt, sammen med økning i fornybarandelen og reduksjon i bruk og utbygging av kull²⁷. Til tross for at det er en rekke positive tegn fra Kina må klimapolitikken forsterkes kraftig for å være i tråd med det som er nødvendig for å begrense global oppvarming ned mot 1,5 grader.

2

Kraftproduksjon fra vind og sol i Kina, USA, EU og India (TWh) og fornybarandel av total kraftproduksjon (%)³²



India satser på fornybar kraft og elbiler, mens klimaambisjonene er utydelige

India har de siste tiårene hatt en kraftig økonomisk vekst og en raskt voksende befolkning. Dette har også gitt en kraftig økning i etterspørselen etter energi. Energiforbruket har doblet seg siden år 2000, og India er i dag verdens tredje største konsument av energi. Siden 80 prosent av etterspørselen blir dekket av kull, olje og biomasse, har dette ført til en økning i klimagassutslipp og lokal forurensing²⁸.

I 2020 estimeres 97% av indiske befolkningen å være tilknyttet elnettet, noe som betyr at over 900 millioner mennesker har fått tilgang til elektrisitet siden 2000. Indias mål i Parisavtalen er å redusere utslippintensitet i økonomien med 33-35 prosent innen 2030 sammenlignet med 2005 nivå og en andel på 40 prosent ikke-fossil kraftproduksjon innen 2030²⁹.

Kull i India er et sammensatt bilde. 2020 er det femte året på rad der investeringer i fornybar energi er større enn investeringene i kull. Det investeres fortsatt over ti milliarder dollar årlig i kull, men siden 2016 har det ifølge IEA vært et kraftig fall i nye investeringsbeslutninger, noe som kan tyde på at det blir langt lavere investeringer i årene som kommer. India har verdens femte største kullreserver, men er likevel en stor importør av kull, hvor hele 33 prosent av kulletterspørselen dekkes gjennom import³⁰. Indiske myndigheter har gjennomført en rekke klimapolitiske tiltak for å nå målene de har satt seg i Parisavtalen. Både på lokalt og nasjonalt nivå. Mellom 2015–2019 vokste investeringer i fornybar energi med 60 prosent

og er nå på 18 milliarder dollar årlig. Denne utviklingen styrkes av et støttesystem med auksjoner for fornybarprosjekter. Det er også innført en rekke regler for energieffektive bygg, satt mål om energieffektiviseringsstandarder i biler og mål om økt bruk av biodrivstoff i transportsektoren. Et eksempel på politisk tiltak som har gitt stor effekt er utfasing av glødepærer, som har blitt erstattet med LED-pærer. Det har spart inn 54 TWh i forbruk³¹.

*Nationally Determined Contributions, løfter som land forplikter seg til i Parisavtalen

Muligheten for å skape nye, grønne jobber trekkes frem av mange politikere som en sentral del av den grønne agendaen.

En mer kompleks grønn agenda

Som følge av at samfunnet får en bedre forståelse for konsekvensene ved global oppvarming, har mange land satt stadig høyere mål om reduksjoner av klimagasser. Med mer ambisiøse klimamål og kraftigere utslippskutt, påvirker klimapolitikken stadig flere deler av samfunnet og økonomien.

I og med at klimapolitikken blir mer omfattende, må den også ta hensyn til andre politiske mål som sysselsetting og klassisk naturvern. I tillegg blir de fordelingsmessige effektene av klimapolitikken viktigere og mer synlige. Rettferdig omstilling og mulige former for kompensasjon blir derfor stadig viktigere. Dette reflekteres i flere sentrale politiske prosesser i dag.

Miljøhensyn har tradisjonelt stått sterkt i EUs regelverk, og dette er styrket gjennom EUs grønne giv. Regelverk knyttet til forurensing styrkes, mens biodiversitet og sirkulær økonomi løftes opp. Likeledes styrker EU taksonomien denne trenden hvor klima – fortsatt det sentrale målet i EUs grønne giv – komplementeres med miljøhensyn i finansielle rapporteringskrav³³.

Når det gjelder biodiversitet, legger EU vekt på både bevaring og restaurering av natur og arter. Målet for 2030 er å beskytte 30 prosent av EUs landareal og hav med bindende miljømål og biodiversitetsplaner. Dette kan forsterke kravene knyttet til utbygging og drift av grønne prosjekter, øke kravene knyttet til dokumentasjon og påvirke utrulling av ulike fornybarteknologier. Samtidig vil krav til beskyttelse av land- og havareal kunne påvirke ulike teknologier forskjellig.

Sirkulær økonomi har fått en sentral plass i EUs planer. Bare 10% av EUs etterspørsel etter materialer kommer fra gjenbruk i dag. Det forventes strengere krav til overvåking og dokumentasjon knyttet til fotavtrykk og opprinnelsen til ulike materialer. For grønne teknologier kan dette bety større krav til dokumentasjon av materiale, livssyklusanalyser, gjenbruk og resirkulering generelt. Det kan også føre til at den allerede sterke trenden knyttet til dokumentasjon og sertifisering av bruk av fornybar energi forsterkes globalt og i Europa.

Innen forurensing ventes det at eksisterende regelverk knyttet til utslipp til luft, vann og land å forsterkes. I tillegg forventes det sterkere krav til redusert visuell forurensing og støyforurensing. Forsterkede krav innen forurensing forventes å føre til strengere overvåking og transparens og sterkere implementering av eksisterende regelverk. Dette kan påvirke ulike teknologier på ulik måte, og kan øke kostnader knyttet til forurensing. Denne vekten på miljø i bredere forstand er også reflektert i internasjonale og nasjonale diskusjoner

En omfattende og kraftfull klimapolitikk vil føre til endringer for mange mennesker, og «rettferdig omstilling» har for alvor kommet opp de siste årene. Dette fikk en sentral plass i etableringen av EUs grønne giv, og dessuten økt viktighet gjennom Covid-19-pandemien. Den store omstillingen i energimarkedene gir mulighet og behov for mer grønn nærings- og industriutvikling.



⋮ **Energiomstilling** krever store investeringer i alle leddene i produksjon av fornybar energi. Dette, samt
⋮ at vi må finne nye måter å bruke energien på, vil skape nye grønne jobber i fremtiden.

2

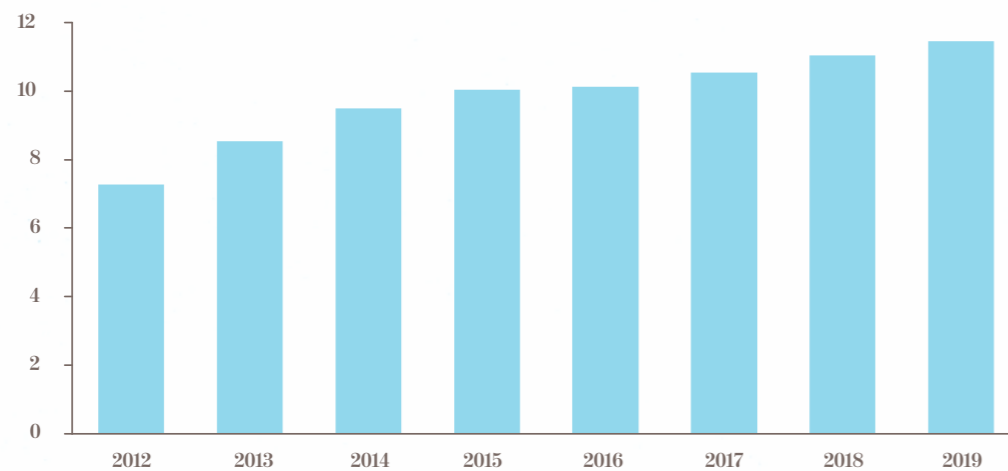
Syssetting i fornybarnæringen

Energiomstillingen vil kreve store investeringer i produksjon, lagring og distribusjon av fornybar energi, samt at vi må finne måter å bruke energien mer effektivt på. Dette vil skape jobber.

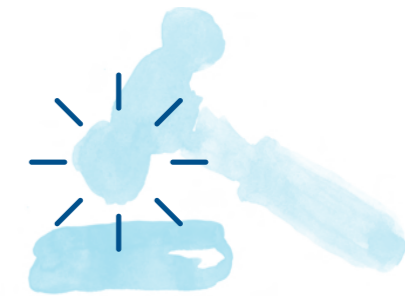
Muligheten for å skape nye, grønne jobber trekkes frem av mange politikere som en sentral del av den grønne agendaen. Joe Biden lovet i valgkampen å skape 10 millioner grønne jobber. I EUs grønne giv trekkes også muligheten for nye arbeidsplasser frem. Både selskaper og myndigheter ønsker varige industrielle effekter av de storstilte investeringene de står overfor. Pandemien med påfølgende støttepakker har forsterket dette utviklingstrekket, og vi ser økt satsing på næringsutvikling både i Norge og globalt³⁴.

3 Arbeidsplasser innen fornybar energi (millioner)³⁵

Millioner jobber



Siden 2012 har arbeidsplasser innen fornybar energi økt med nærmere 60 prosent, og arbeidsplasser innen solenergi har nesten tredoblet seg globalt. Mot 2050 vil antall jobber innen fornybar energi firedoble seg hvis verden gjennomgår en energiomstilling i tråd med Parisavtalen. På toppen av dette kommer jobber innenfor distribusjon, lagring og energieffektivisering. IRENA anslår at antall jobber innen energisektoren vil øke med rundt 30 millioner mot 2050 om vi når klimamålene. Det er ventet at flesteparten av fornybararbeidsplassene, rundt 60 prosent, vil ligge i Asia³⁶. For å komme ned til netto nullutslipp anslår IEA at det allerede i 2030 trengs en økning på 16 millioner jobber innen utslippsfri kraft, energieffektivisering og lavutslippsteknologier³⁷.



En trend vi har sett mer av de siste årene er at klima- og bærekraftspolitikk tas opp i domstoler.

Økende klimapress fra domstoler og finansmarkeder

En trend vi har sett mer av de siste årene er at klima- og bærekraftspolitikk tas opp i domstoler. I 2020 foregikk det 1 500 rettsaker som omhandlet global oppvarming i 38 forskjellige land, med majoriteten av tilfellene i USA. En av dommene som har fått mest oppmerksomhet, er at en domstol i Nederland fastslo at landets klimapolitikk ikke er tilstrekkelig ambisiøs og konkret. Lignende dommer har falt i den tyske forfatningsdomstolen og i en administrasjonsdomstol i Paris. Også i Australia har en domstol slått fast at klimaendringer vil påføre neste generasjon store utfordringer i form av hetebølger og skogbranner. Dommene er en konsekvens av at bevisene for global oppvarming nå er så sterke at de holder i domstoler, samtidig som landene har forpliktet seg til å begrense global oppvarming gjennom Parisavtalen³⁸.

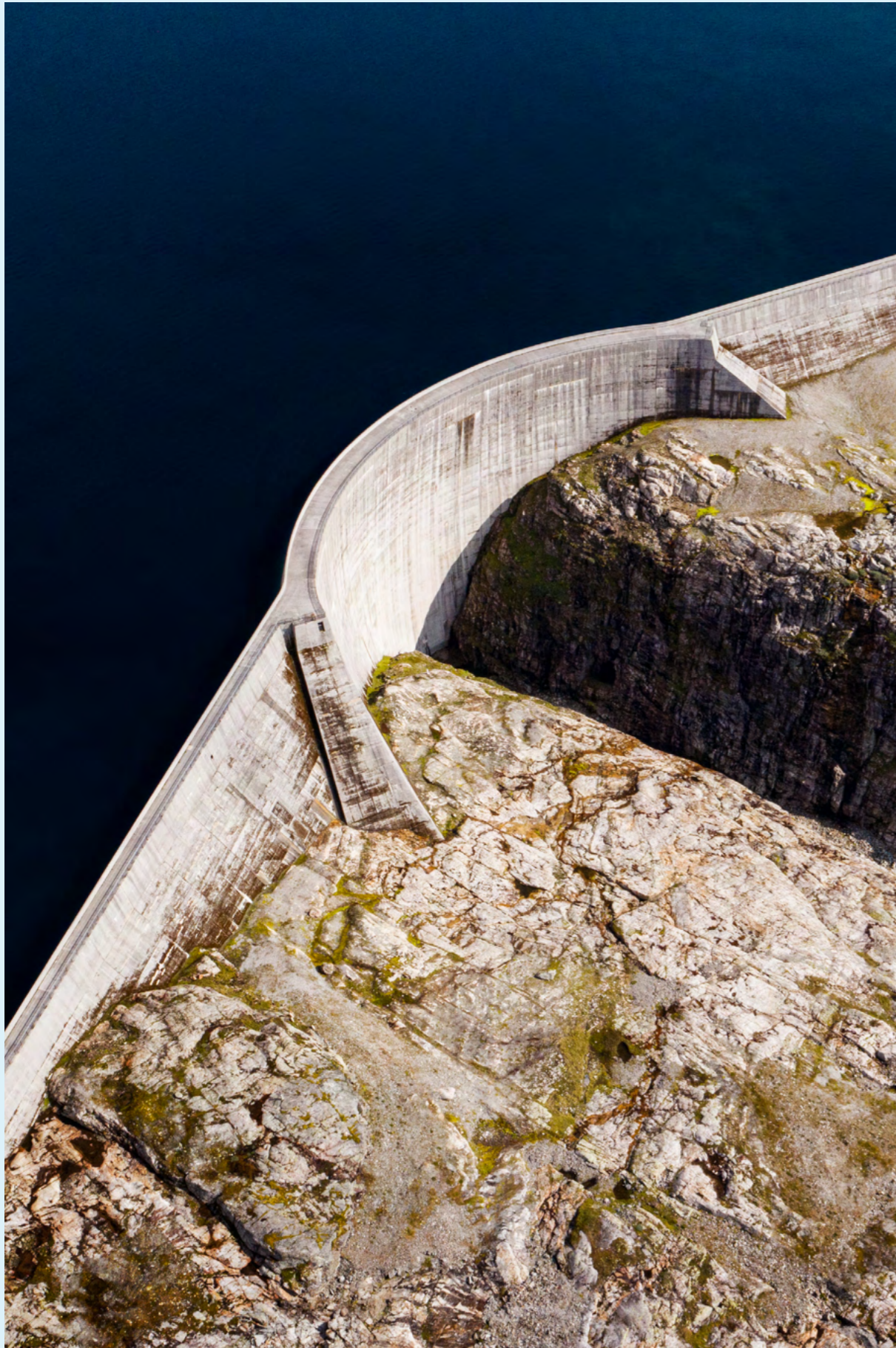
Det er ikke bare nasjonalstater som blir dømt til å forbedre sine klimamål. I mai 2021 dømte en nederlandsk domstol at Shells arbeid med bærekraft ikke var tilstrekkelig og at det måtte konkretiseres. Domstolen påla blant annet Shell å redusere utslippene med 45 prosent, inkludert forbrenningsutslipp fra solgt olje og gass, innen 2030 fra 2019-nivå og argumenterte med at det vil være i tråd med Parisavtalen. Dommen er basert på at utilstrekkelig klimahandling er brudd på både den europeiske menneskerettighetskonvensjonen og nederlandsk sivilrett. Dommen slo fast at det siden 2012 har vært en bred internasjonal konsensus om at også ikke-statlige aktører har ansvar for klimahandling og at oljeselskapet Shells utslipp var på samme nivå som mange stater³⁹.

Samtidig øker klimapresset innenfor finansmarkedene. Eksempelvis har EU også her tatt en ledende rolle innenfor bærekraftig finans med blant annet omfattende regler for bærekraftsrapportering basert på taksonomien, EUs nye klassifiseringssystem. Rapporteringen omfatter rundt 50 000 selskaper og vil øke presset på selskaper fra investorer, forsikring, bank, eiere og revisorer⁴⁰.

Det er for tidlig å si hvordan krav til rapportering og den rettslige utviklingen vil påvirke politikkutvikling og selskapers agering. Men det er grunn til å tro at vi generelt vil se et økende press på selskaper og nasjoner fra flere aktører knyttet til klimahåndtering og bærekraft. Vi vil se flere eksempler på at organisasjoner tar selskaper til retten, og at referanse til menneskerettighetene brukes som rettsgrunnlag. Dette kan få konsekvenser både politisk og kommersielt, også knyttet til den byrden det er å stå i denne type saker.

2

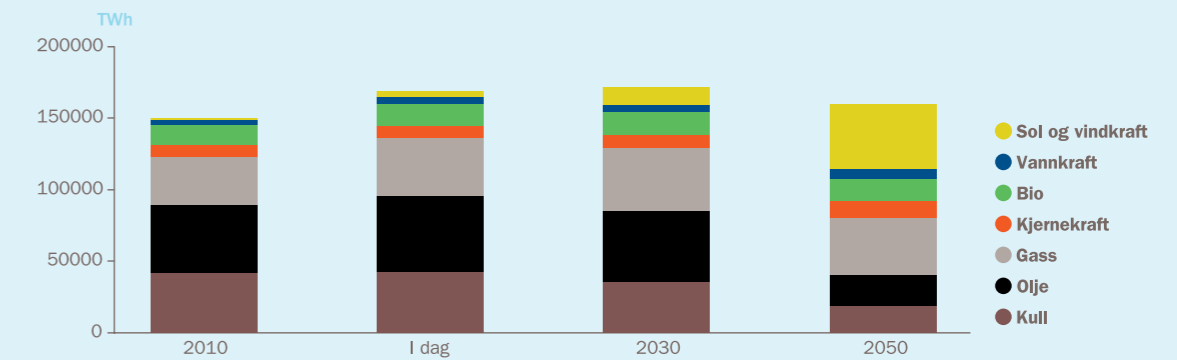
MOT EN
FORNYBAR
OG ELEKTRISK
VERDEN



Global vannkraftkapasitet vil vokse med omtrent 1,5 prosent årlig fram mot 2050.

4

Primærenergjetterspørsel fordelt på energikilde 2010-2050. I Lavutslippsscenarioet ender global etterspørsel etter primærenergi på samme nivå i 2050 som i dag, men med en ulik energimiks (TWh)*.



Statkrafts Lavutslippsscenario: Mot en fornybar og elektrisk verden

I dette kapittelet presenterer vi vårt Lavutslippsscenario som strekker dagens globale energitrender til 2050. Scenariet tar ikke utgangspunkt i et bestemt klimamål for så å analysere bakover, men legger til grunn at klimapolitikk, kostnadsfall på grønne teknologier og markedsdynamikk i hovedsak forsterker hverandre. Dette resulterer i en renere energiverden og lavere CO₂-utslipp.

I kraftsektoren har det blitt tydelig at vi er midt i en fornybarrevolusjon: Sol- og vindkraft er vinnere i den globale konkurransen om å forsyne verden med billig, ren kraft. Kostnadsnivået er hovedgrunnen til at sol- og vindkraft utkonkurrerer andre teknologier, i tillegg til klimagevinsten de fører med seg. Økte klimamål øker presset på å kutte utslipp i industri, transport og bygg, og med en mer fornybar kraftsektor, vil direkte bruk av elektrisitet være et kostnadseffektivt klimatiltak for disse sektorene. Samfunnet elektrifiseres. Energjetterspørselen innen transport, oppvarming og industriprosesser kan gjøres billigere og mer effektivt ved direkte bruk av ren fornybar kraft. Det reduserer både lokal forurensing og globale klimagassutslipp. For sektorer der direkte bruk av elektrisitet er krevende, vil den fornybare kraften kunne brukes

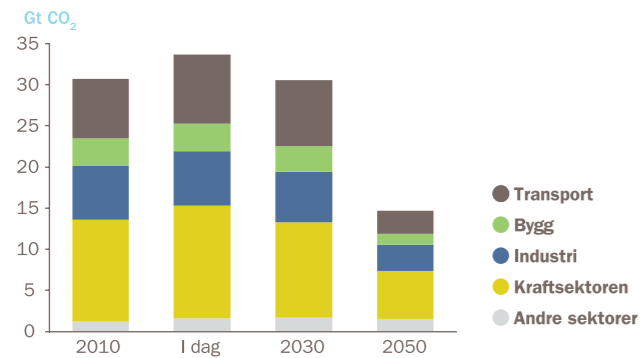
indirekte gjennom utslippsfritt hydrogen som én av få løsninger for å kutte utslipp. Direkte og indirekte bruk av fornybar kraft knytter sektorene tettere sammen gjennom såkalt sektorkobling.

Våre analyser viser at å redusere utslipp i kraftsektoren først er en god strategi. Samtidig kan vi ikke vente med å elektrifisere bilparken eller utvikle hydrogen til verdens kraftsektor er helt utslippsfri. Det tar tid å bygge opp verdikjeder og infrastruktur. I tillegg kan elbillading og hydrogenproduksjon bidra til viktig fleksibilitet i kraftsystemet, som gjør det mulig å øke investeringene i vind- og solkraft. Hydrogen kan også være en viktig bidragsyter til å kutte de siste utslippene i kraftsektoren. Norge er i en særstilling i verden med en høy andel fleksibel vannkraft og en allerede utslippsfri kraftsektor, og kan dermed gå rett på å kutte utslipp i de andre sektorene.

* Lavutslippsscenarioet benytter IEA sin beregningsmetode. I primærenergiberegninger 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.

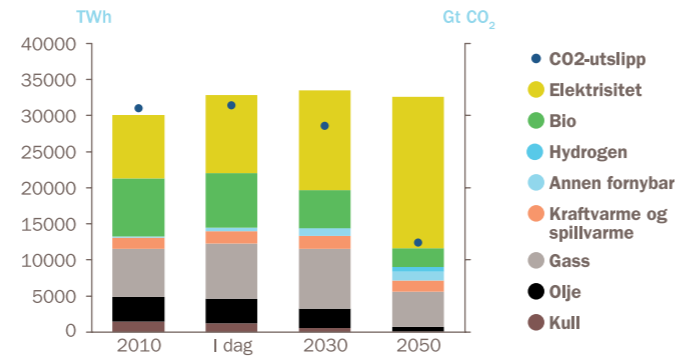
5

Globale energirelaterte CO₂-utslipp fordelt på sektor (Gt CO₂).



6

Global sluttbruk i bygg fordelt på energibærere (TWh) (venstre) og totale utslipp for bygg (GtCO₂) (høyre).



Utslippskutt skjer i hovedsak gjennom elektrifisering

Klimagassutslipp fra bruk av energi kan reduseres på flere måter. Energieffektivisering, bruk av elektrisitet, hydrogen og bioenergi, og karbonfangst og -lagring, er alle viktige teknologier hvis vi skal oppfylle Parisavtalens målsetning om godt under 2 graders oppvarming. I Lavutslippsscenarioet skjer avkarboniseringen i hovedsak ved hjelp av fornybar kraft og elektrifisering. Vi ser at bruken av elektrisitet har fire store fordeler:

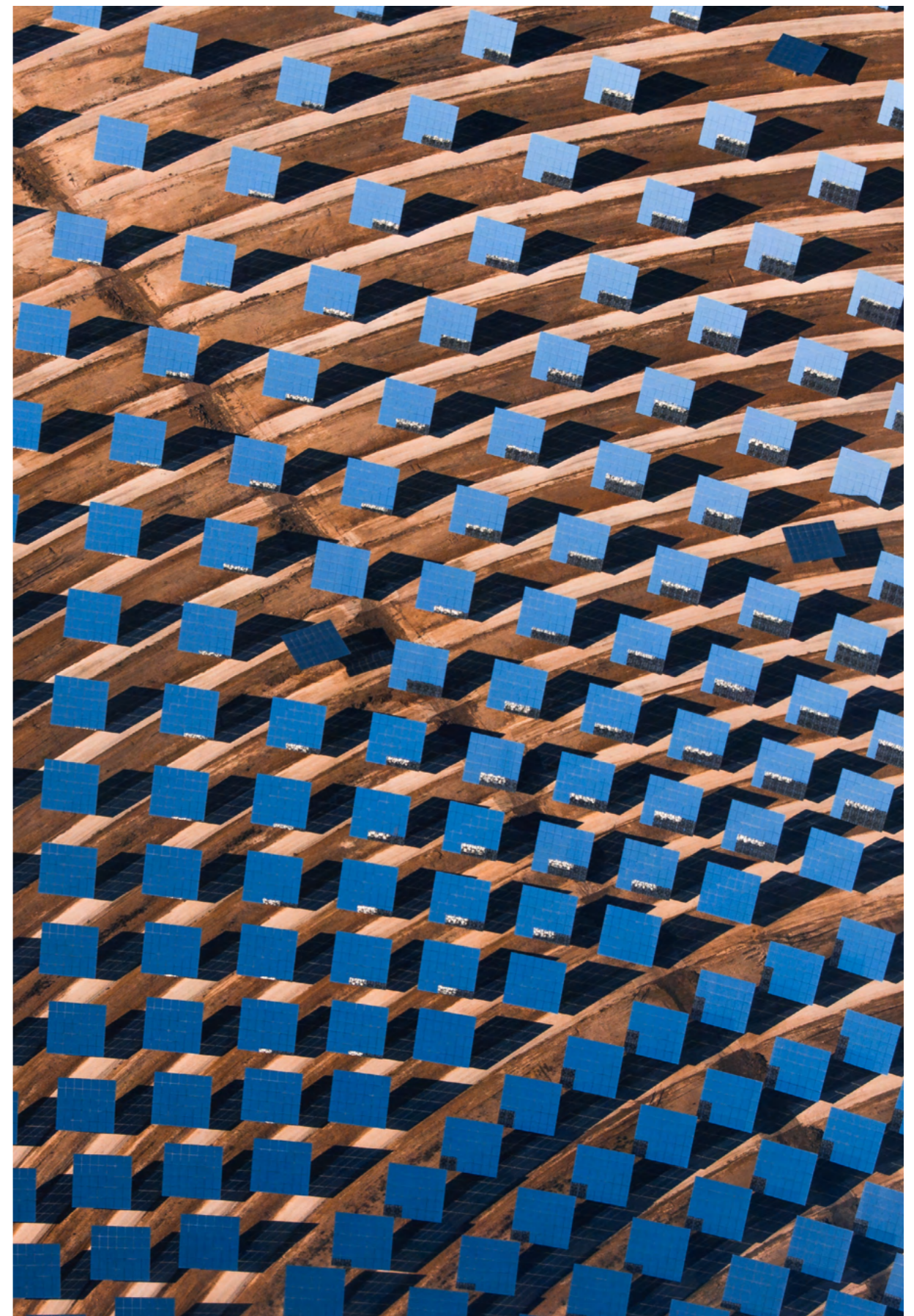
1. Elektrisitet tar bort lokale utslipp. Det betyr at luftkvaliteten og miljøet i byer blir vesentlig bedre hvis for eksempel transportsektoren elektrifiseres.
2. Spart energi er den mest miljøvennlige energien som finnes. Bruk av elektrisitet istedenfor fossile brenslere er ofte mye mer energieffektivt. En varmepumpe trenger kun 1/3 av energien i forhold til en gasskjele for å levere samme energitjeneste. Det samme gjelder elbil, som også kun trenger rundt 1/3 av energien til en fossilbil.
3. Bruken av elektrisitet kobler de forskjellige sektorene sammen, såkalt sektorkobling. Dette har mye å si for å løse behovet for fleksibilitet i kraftsystemet.
4. Hvis elektrisiteten kommer fra fornybare kilder, blir utslippene null. Elektrisitet fra en gradvis mer og mer fornybar kraftsektor er nøkkelen til avkarbonisering en i Lavutslippsscenarioet.

Utslippsreduksjon i bygninger gjennom elektrifisering og effektivisering

Utslipp fra byggsektoren, i hovedsak romoppvarming og matlaging, står for omtrent ti prosent av globale energirelaterte CO₂-utslipp. Særlig fossilgass er mye brukt til oppvarming i mange deler av verden. I fattigere land er det vanlig at tradisjonell biomasse brukes (f.eks. vedfyring eller matlaging over ild). Bruk av bærekraftig biomasse regnes som utslippsfritt, men matlaging og oppvarming med tradisjonelle biobrenslere er problematisk med tanke på bærekraft, lokalmiljøet og luftkvalitet. I Lavutslippsscenarioet øker bruken av elektrisitet i byggsektoren, samtidig som både bruken av fossile brenslere og tradisjonell bioenergi synker.

Det finnes ulike måter å bruke elektrisitet for å levere varme. Historisk har elektrisitet blitt brukt direkte via elektriske ovner eller elkjeler. I dag tar varmepumper mer og mer over. Varmepumpeteknologien utnytter varmen fra miljøet i tillegg til kraft, og leverer derfor rundt tre ganger så mye varme som den bruker elektrisitet*. Store energigevinster og utslippskutt gjør at det i det stille pågår en varmepumperevolusjon i Norge og Europa. De siste årene har Europa installert over en million varmepumper hvert år som gjør at antall varmepumper i Europa øker kraftig. Det er i Europa vi forventer størst overgang til elektrisk oppvarming, siden Europa har relativt høye gasspriser, høye klimaambisjoner og et relativt kaldt klima, men denne trenden er også global.

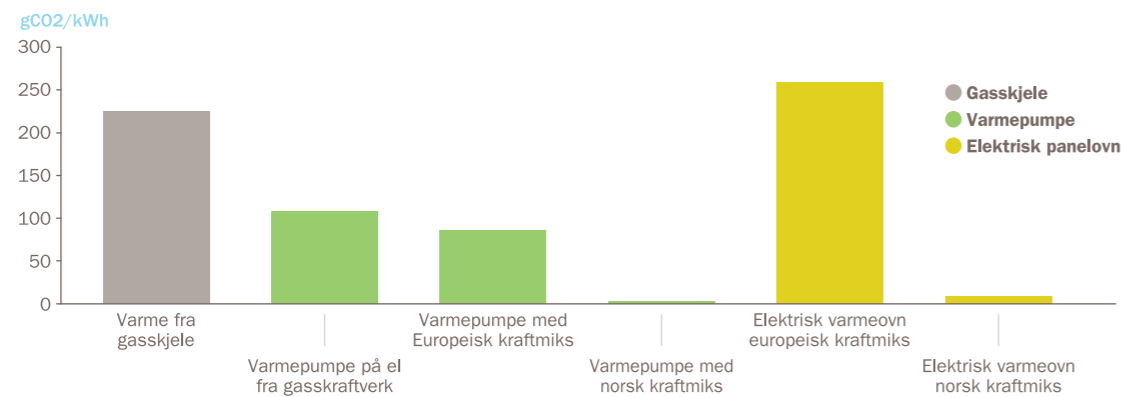
* Virkningsgrad for varmepumpe er avhengig av temperaturen de kan hente varme og vil variere mellom 200 % til 500 %. I Canada har de fått virkningsgrad på 200 % i minusgrader med varmepumper designet for kaldt klima.



◦ Frem til 2050 øker kapasiteten i kraftsektoren globalt til tre ganger dagens nivå

8

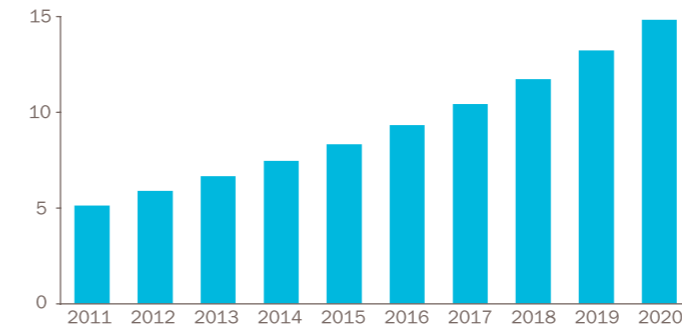
Utslipp fra forskjellige oppvarmingsteknologier (gCO₂/kWh)*



* Varmepumpe med COP på 300, virkningsgrad til elektrisk varmeovn, gasskjele og gassturbin på henholdsvis 99 %, 90 % og 62% (LHV). Gram CO₂ per kWh ligger på henholdsvis 256 og 8 for europeisk og norsk kraftmikts.

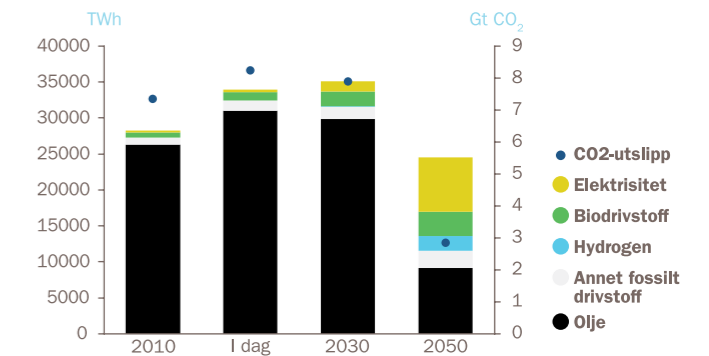
7

Totalt antall installerte varmepumper i 21 land i Europa de ti siste årene (millioner)⁴²



9

Globalt sluttbruk fra transportsektoren fordelt på energibærere (TWh) (venstre) og totale utslipp for transport (Gt CO₂) (høyre)



Norge nærmer seg én million varmepumper i drift, i hovedsak i husholdninger. Til sammen leverer de rundt 20 TWh varme, men bruker kun 7 TWh elektrisitet⁴¹. I Lavutslippsscenarioet vil varmepumper levere over 50 prosent av varmeetterspørselen i 2050.

En varmepumpe har lavere utslipp desto renere kraft den bruker, men varmepumper kan hjelpe med utslippsreduksjon spesielt når kraften den bruker kommer fra fossile kilder. Dersom en varmepumpe får elektrisiteten fra et gasskraftverk med 60 prosent virkningsgrad vil utslippene omtrent halveres i forhold til en tradisjonell gasskjele med 90 prosent virkningsgrad og mer om en varmepumpe erstatter en elektrisk ovn med europeisk kraftmikts. Selv om varmepumpen gir mest utslippsreduksjoner når den erstatter annen oppvarming fra fossil energi, er varmepumper svært energieffektive og sparer energi. Energieffektivisering i bygg, både i selve bygningsmassen, apparater og ved bruk av varmepumper, blir et viktig bidrag til lavere klimagassutslipp.

Det finnes også energi å spare ved matlaging. I mange land brukes fortsatt gass som standard i komfyrer. Her vil en overgang til induksjonskomfyrer gi utslippsreduksjoner, effektiviseringsgevinster og bedre kontroll ved matlaging, samt et bedre innendørsklima. I fattige områder vil flere gå over fra å bruke tradisjonell biomasse til matlaging, til å bruke mer energieffektive og trygge brenslere som elektrisitet og fossilgass. For å få verden helt til nullutslipp må også fossilgass fases ut.

Utslippsreduksjoner i transport gjennom elektrisitet og hydrogen

Transportsektoren står for nærmere 25 prosent av dagens energirelaterte CO₂-utslipp og opp mot 75 prosent av dette kommer fra veitransport. Transportsektoren består i dag hovedsakelig av fossile drivstoff (figur 9).

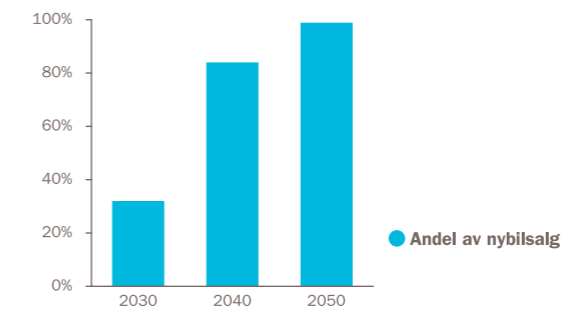
Elektriske kjøretøy er på rask vei inn i transportsektoren, og flere bilprodusenter har høye mål om salg av elbiler framover. Globalt var 2020 et svært godt år for elbiler og dette har fortsatt inn i 2021. På tross av koronakrisen, økte salget av helelektriske biler med 40 prosent, selv om det totale bilsalget falt. Inkludert ladbare hybrider, utgjorde elbiler 4 prosent av det globale bilsalget. I første kvartal i år økte elbilsalget globalt med 154 % samtidig som bilsalget totalt økte med 21 %. Nye modeller og bedre tilbud fra bilprodusentene, sammen med økende grad av politiske virkemidler, er en hoveddriver bak veksten.

Stadig flere produsenter har ambisiøse mål for elbilsalg:

- Ford har satt et mål om 40 prosent elbilandel innen 2030, og skal investere 30 milliarder USD frem mot 2025. Innen 2030 har Ford planer om å kun selge fullelektriske biler i Europa
- Volvo har som mål å bare selge elektriske biler fra 2030
- Volkswagen har et mål om 70 prosent elbilsalg i Europa og 50 prosent i Kina og USA innen 2030
- Mercedes har satt et mål om å være helelektriske innen 2030. Allerede innen 2025 vil halvparten av modellene være elektriske.

10

Utslippsfri andel av nybilsalg globalt



I tillegg til bredere utvalg fra bilprodusentene blir infrastrukturen stadig bedre, samtidig som batterikostnadene faller og støtteordninger kommer på plass. Kina, Europa og USA står for over 60 prosent av passasjertransporten i verden og her skjer det mye. I Bidens infrastrukturpakke ble det annonsert 174 milliarder dollar i investeringer til blant annet elbilsubsidier og ladeinfrastruktur. I EUs "Fit for 55" fastsettes mål for elbilladere per medlemsland. Mange europeiske land har i tillegg nasjonale målsettinger, insentiver og reguleringer for å framskynde overgangen til elbiler⁴³. I Statkrafts Lavutslippsscenario fortsetter disse trendene og resulterer i en tilnærmet utslippsfri personbilpark globalt i 2050.

Vi har nå over elleve millioner elbiler i verden (helelektriske og ladbare hybrider)⁴⁴. I noen land er den totale levetidskostnaden for en elbil lavere enn en fossilbil allerede i dag. Dette forventes å gjelde i store deler av verden før 2030, noe som vil akselerere elbilveksten ytterligere. Etter hvert som bilprodusenter

lager flere elektriske biler, vil de også redusere produksjonen av fossilbiler. Vi legger til grunn at omtrent 40 prosent av nybilsalget vil være elektrisk i 2030, og andelen vil vokse til nær 100 prosent, og over 1,6 milliarder elbiler vil kjøre på veiene i 2050.

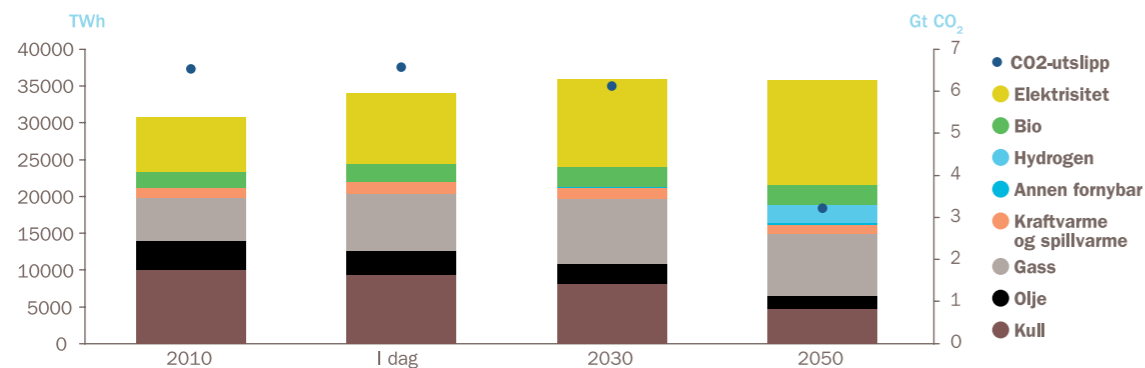
En elbil trenger kun rundt en tredel av energien til en fossilbil. Dette gjør at en høy andel elektriske kjøretøy også gir en stor energieffektiviseringseffekt. Fra 2030 til 2050 reduseres energietterspørselen fra transportsektoren med rundt 30 prosent.

Tungtransport, spesielt de tyngre lastebilene som går lange distanser, er vanskeligere å elektrifisere på grunn av volum- og vektbegrensning fra batteriet. Lastebiler og busser som går kortere distanser vil imidlertid være mulig å elektrifisere. Totalt anslår vi at halvparten av nye lastebiler vil være utslippsfrie i 2050 (batterielektrisk og hydrogen). Også shipping- og flysektoren vil være utfordrende å elektrifisere direkte.

Bærekraftig biodrivstoff og hydrogenbaserte drivstoff vil komplementere hverandre for å avkarbonisere de transportformene der batteri ikke egner seg. Kortere lokale og regionale flyruter vil kunne elektrifiseres på sikt, mens flere ferger og båter som betjener kortere ruter langs kysten går på batteri allerede i dag. For lengre avstander vil ammoniakk basert på grønt hydrogen kunne gi CO₂-fri transport til sjøs. Den internasjonale sjøfartsorganisasjonen (IMO) har et mål om at totale klimagassutslipp skal reduseres med 50 prosent innen 2050, sammenlignet med 2008-nivå. I Lavutslippsscenarioet legger vi til grunn at fem prosent av energiforbruket innen maritim

11

Globalt sluttbruk fra industrisektoren fordelt på energibærere (TWh) (venstre) og totale utslipp for industri (Gt CO₂) (høyre).



transport er elektrisitet i 2050, dette inkluderer elferger og skip som går kortere ruter og landstrøm i havner.

Norge er et foregangsland for elektriske ferger. Allerede i 2020 var det 60 elferger i drift i Norge. Vi antar også at rundt tolv prosent av den globale energibruken i maritim sektor kommer fra utslippsfri ammoniakk i 2050. I Lavutslippsscenarioet er det lagt til grunn at IMO-målene kan nås ved en kombinasjon av alternative drivstoff og mer energieffektiv drift av skipene. Samtidig må målene ytterligere strammes inn hvis verden skal følge en 1,5-gradersbane. I 2050 vil transportutslippene i Lavutslippsscenarioet være redusert med 70 prosent fra i dag. Personbiltransporten vil i hovedsak være utslippsfri, og de gjenværende utslippene vil primært komme fra langtransport mellom land og kontinenter, som shipping, luftfart og tungtransport på vei. Det vil kreve tettere internasjonalt samarbeid og mer ambisiøse kutt enn de som ligger til grunn i Lavutslippsscenarioet for en rask nok avkarbonisering av resten av transportsektoren til å følge en 1,5-graders utslippsbane.

Mer fornybar kraft til industrien

Industrisektoren er energiintensiv med store CO₂-utslipp. Totalt utgjør energirelaterte CO₂-utslipp fra industri 19 prosent av globale energirelaterte utslipp*. Deler av industrisektoren er utfordrende å elektrifisere, spesielt termiske prosesser som krever temperaturer over 500°C. For å elektrifisere slike prosesser kreves teknologi som er i utviklingsfasen. Andre utslippsfrie alternativ til slike prosesser er bruk av hydrogen, bioenergi eller bruk av karbonfangst og -lagringsteknologi. Omtrent halvparten av varmen som blir brukt av

industrien kan kategoriseres som lavtemperatur, det vil si under 200 °C. Slike prosesser kan elektrifiseres med allerede eksisterende teknologi, som kan implementeres på tvers av sektorer. Varmepumper og elkjeler kan erstatte termiske prosesser som er vanlige i mange industrier. Slikt utstyr kan ettermonteres på eksisterende maskiner og hybridsystemer kan bli installert. Elektrifisering med varmpumper, der det er mulig, vil også gi en effektiviseringsgevinst. Implementering av smarte systemer som kobles til varmelager vil kunne regulere elektrisitetsbehovet, slik at det øker når kraftprisene er lave og reduseres ved høye priser. Dette bidrar dermed med nyttig kortsiktig etterspørselsfleksibilitet til kraftsektoren.

I Lavutslippsscenarioet har industrien flat utvikling av energiforbruk, på tross av vekst i sektoren. Dette skyldes mer effektiv materialbruk og høy andel resirkulering mot 2050.

Dette, sammen med elektrifisering, økt bruk av hydrogen, og noe bruk av karbonfangst og -lagring, reduserer energirelaterte CO₂-utslipp med 51 prosent fra i dag til 2050.

Elektrifisering av industrien vil ta tid, og Lavutslippsscenarioet antar en gradvis elektrifisering frem mot 2050. I 2050 vil 40 prosent av industriens energi- etterspørsel være dekket av elektrisitet globalt. EU vil ha kommet lengst, med en elektrifiseringsandel på rundt 60 prosent. Resten av energi-

* Dette omfatter utslipp i forbindelse med forbrenning og produksjon av varme til industriprosessene. Utslippene inkluderer blant annet utslipp fra jern- og stålproduksjon, kjemisk og petrokjemisk industri, sement, papirmasse og papirindustri.

3

Sirkulær økonomi og resirkulering – stålindustrien og EU

Resirkulering er veletablert for metaller, plast, glass og papir, og er et viktig steg for å avkarbonisere industrien. Resirkulert plast sparer for eksempel rundt 50-60 prosent i utslipp av klimagasser sammenlignet med vanlig plastproduksjon. For sektorer som opplever en raskt voksende etterspørsel, vil ikke tilgangen på skrap og avfall være tilstrekkelig til at resirkulering alene kan dekke etterspørselsbehovet. Derfor er også mer effektiv materialbruk og redusert energietterspørsel viktige tiltak for å få en lavkarbon- og sirkulær økonomi⁴⁵.

Et godt eksempel er stålindustrien. Resirkulert stål kan produseres utslippsfritt ved bruk av elektrisitet. Mesteparten av produksjonen av resirkulert stål blir i dag produsert med elektriske lysbueovner, og hele prosessen bruker rundt 20-25 prosent av energien som brukes til å produsere primærstål. Ved å bruke resirkulert skrapmetall i stålproduksjon, forsvinner den mest energi- og utslippsintensive delen av produksjonen, som er smeltingen og fremstillingen av jern fra jernmalm⁴⁶.

De største bruksområdene for stål er i bygninger og i kjøretøy, som begge har veldig lang levetid. Dette, sammen med en

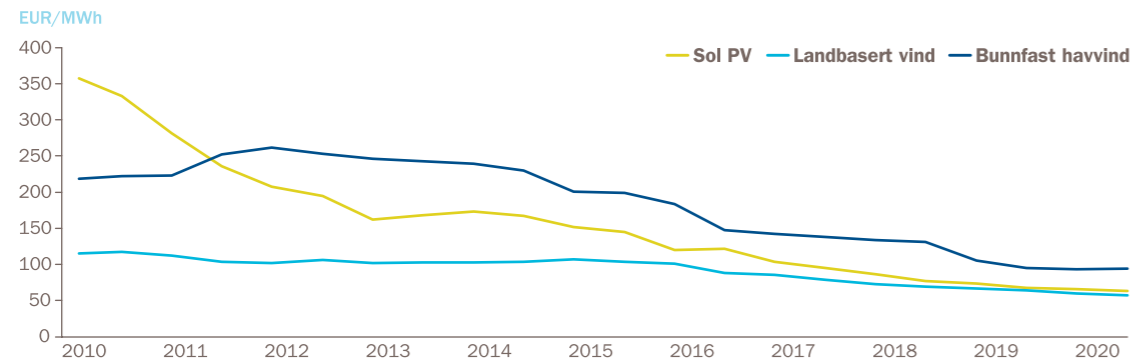
etterspørsel som har doblet seg siden 2000, gjør at resirkulering kun dekker en begrenset del av stålletterspørselen. 85 prosent av globalt stålforbruk blir i dag resirkulert, noe som dekker rundt 1/3 av global stålletterspørsel⁴⁷.

EUs handlingsplan for sirkulær økonomi inkluderer sektorer som plastikk, avfallshåndtering, konsumentelektronikk, tekstiler, transport, batterier og biomasse. Den har som mål at det kun vil være trygge, sirkulære og bærekraftige produkter tilgjengelig for det europeiske markedet innen 2030. EU har identifisert sirkulærøkonomien som en strategisk mulighet for å blant annet fremme mer effektiv ressursbruk. Handlingsplanen inkluderer også handelspolitikk. Her ønsker EU å bruke tilgang til det frie markedet i Europa til å fremme sirkulære handelsregler gjennom WTO og frihandelsavtaler, og dermed fremme konseptet om sirkulær økonomi også globalt. Produsenter som skal selge produktene sine i EU kan bli forventet å måtte overholde EU sine økodesign-standarder for produktene sine⁴⁸.

12

Gjennomsnittlige levetidskostnader (LCOE*) for ulike fornybare kraftproduserende teknologier (EUR/MWh)⁵⁰

* Levelized cost of electricity



etterspørselen dekkes av hydrogen, bioenergi og noe fossilt med karbonfangst og -lagring. I andre deler av verden, som India, Kina og resten av Asia, bygges det fortsatt fossilbasert industrikapasitet, noe som har en levetid på nesten 40 år. Der anslår vi at elektrifiseringen i industrien og utbygging av fornybar kraft går saktere.

Kraftsektoren blir renere: sol- og vindkraft utkonkurrerer kull- og gasskraft

Alle fornybarteknologiene vokser

Alle fornybarteknologiene, både sol-, vind- og vannkraft er nødvendige for å nå klimamålene og vil vokse betydelig fram mot 2050 i Lavutslippsscenarioet.

Kostnadsreduksjonene for sol- og vindkraft har vært enorme de siste ti årene. Solkostnadene har falt med rundt 85 prosent siden 2010. Den fremste driveren for dette har vært stadig mer effektiv produksjon av solpanel og reduksjon i installasjonskostnader. Videre gjør framsteg innenfor materialteknikk at solcellene blir mer effektive, noe som også reduserer kostnader. For landbasert vindkraft har kostnadene ikke falt like raskt, men kostnadene er likevel halvert siste ti år. Her drives kostnadsreduksjonen i hovedsak av større vindturbiner. Større turbiner gir både høyere produksjon og lavere produksjonskostnader. En moderne vindturbin i år 2000 var omtrent 1 MW, i dag er nye vindturbiner 3-4 MW og størrelsen forventes å øke opp mot 10 MW i 2050. For å oppnå 10 MW turbiner på land må segmenterende løsninger til, det vil si at vinger og tårn delvis kan monteres på plass. Større turbiner gir både høyere produksjonsvolum og

lavere kostnader. Innenfor havvind har turbinene potensial til å bli enda større ettersom de ikke begrenses av de samme logistiske utfordringene. Eksempelvis planlegger havvindprosjektet «Dogger Bank C» som skal være ferdigstilt 2026 å installere turbiner på 14 MW⁴⁹.

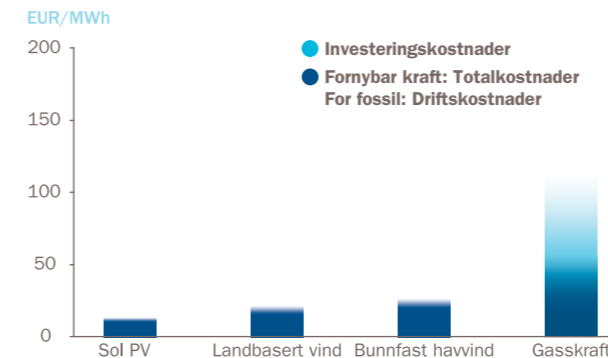
Mer digitalisering, bedre metoder for preventivt vedlikehold og bedre kontroll- og styresystemer kan ytterligere redusere kostnader for alle fornybarteknologier.

I Lavutslippsscenarioet øker kapasiteten i kraftsektoren globalt til tre ganger dagens nivå, fra i dag til 2050. Hele denne økningen, og mer til, dekkes av fornybar kraft. Dette er primært drevet av kostnadsfallet for sol- og vindkraft frem mot 2050. Våre analyser viser at det allerede i dag er billigere å installere fornybar kraftproduksjon når ny kapasitet skal bygges, og sol- og vindkraft utkonkurrerer også eksisterende kull- og gasskraftverk allerede flere steder i verden (figur 13 og 14).

Det blir altså billigere å bygge ny fornybar-kapasitet enn å betale for kull og gass som brensel til å kjøre fossile kraftverk. Dette fører til en kraftfull dynamikk over hele verden, der fossil energi utkonkurreres av fornybar energi. Mellom 2008 og 2018 vokste installert sol- og vindkapasitet med henholdsvis 42 prosent og 17 prosent årlig. I årene frem til 2050 øker solkraftkapasiteten i gjennomsnitt med over 10 prosent per år til nesten 13 000 GW, mens landbasert vindkraft øker med over 5 prosent per år til 3 500 GW og havvind øker med 13 prosent, men fra et betydelig lavere utgangspunkt og ender på litt under halvparten av kapasiteten til landbasert vindkraft i 2050. Vannkraft er den største kilden til fornybar kraft

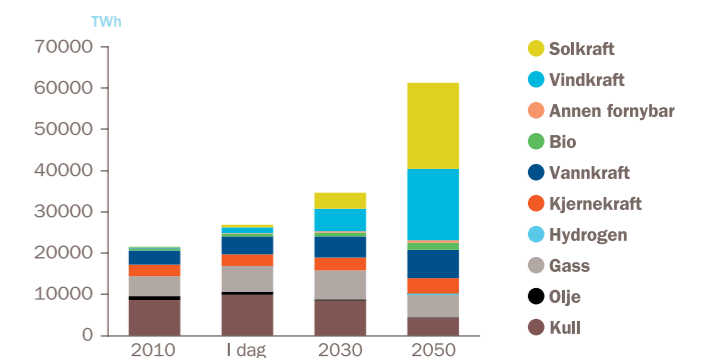
13

Gjennomsnittlig levetidskostnader for ulike kraftproduserende teknologier i 2050 for Vest-Europa (EUR/MWh)



14

Kraftetterspørsel fordelt på energibærere (TWh)



med 1 300 GW utbygd kapasitet globalt som forventes å vokse med omtrent 1,5 prosent årlig. Dette viser tydelig at verden står midt i en fornybarrevolusjon.

Solkraft har ikke bare lave kostnader, men er også fleksibel med hensyn til plassering og areal, og er enkelt og raskt å bygge ut sammenliknet med andre teknologier. Som i fjorårets analyse vil solkraftproduksjon gå forbi både vind-, vann-, kull- og gasskraft, og bli den største kraftkilden fra rundt 2035.

Landbasert vind er den rimeligste kilden til kraft i mange deler av verden. Sesongprofilen passer godt i Europa, med mye vind i vinterhalvåret når det er mindre sol. Vindkraft komplementerer derfor solkraft godt. Lavutslippsscenarioet forutsetter en sterk vekst av landbasert vindkraft rundt om i verden. Uten landbasert vindkraft vil det være umulig å nå ambisiøse klimamål.

Sammenlignet med landbasert vindkraft er havvind dyrere per installert MW. Havvind har en jevnere produksjon og kan plasseres relativt nær store forbrukssenter langs kysten. Spesielt vil flytende havvind bli en markant bidragsyter til kraftsystemet i Japan, Sør-Korea og deler av USA på bakgrunn av tett befolkning, lite tilgjengelig landareal eller lite egnet havareal for bunnfaste varianter. I Europa er det store arealer med gode vindforhold godt egnet for bunnfast teknologi, så der ventes den bunnfaste varianten å dominere selv om det også er ventet en god del flytende havvind.



Landbasert vind er den rimeligste kilden til kraft i mange deler av verden. Sesongprofilen passer godt i Europa, med mye vind i vinterhalvåret når det er mindre sol.

4

Kraftnett i Nordsjøen

Havvind er blant Europas raskest voksende energikilder etter sol- og landbasert vindkraft. Det er bygd ut i overkant av 3 GW årlig de siste årene, og dette vil øke til godt over 10 GW per år mot 2030. Utviklingen er drevet av ambisiøse mål fra EU og nasjonale myndigheter, som ser havvind som vesentlig for å oppnå utslippsreduksjoner. I dag er det installert rundt 25 GW kapasitet i Europa, og frem mot 2030 forventes EU å ha 60 GW, og Storbritannia 40 GW i drift. EU har framover et mål om 300 GW havvind innen 2050⁵¹.

Høye og stabile vindhastigheter i Nordsjøen med 9-11 m/s snittvind, og kapasitetsfaktorer som kan nå over 50 prosent gjør at havvind vil kunne bidra til å balansere kraftmarkedene. Produksjonen kan bygges relativt nær etterspørselen, med de mange store byene langs kysten av Europa. Havvind opptar ikke landarealer, og er ofte ikke synlig fra land, noe som kan skape mindre konflikt.

Å bygge ut over 300 GW havvind i Europa innen 2050 vil kunne by på store utfordringer når det gjelder koordinering og nettutvikling. Kraften må tas inn i landnettet på en effektiv måte, og må kunne fraktes innover kontinentet til forbruksområder uten havforbindelse. En storstilt utbygging av havvind krever derfor en tilsvarende satsing på nettutbygging i Europa, og EU har lansert planer for å adressere dette⁵².

I dag kobler hvert havvindprosjekt seg til et unikt landpunkt. Med økte volumer vil det bli større krav til koordinering av vindparkene og landene imellom, og egne havvindnett er foreslått som mulige løsninger.

Et havvindnett som forbinder vindkraftprosjekter til samme ilandføringspunkter, men også til ulike land, vil derfor kunne bli en del av løsningen. Danmark planlegger allerede for dette, med to kunstige energiøyer som vil samle kraft fra flere vindparker for ilandføring. Andre initiativer inkluderer en mulig kraftkabel mellom Storbritannia og Nederland, der vindprosjekter kan koble seg på og selge kraft til begge markeder⁵³.

Utfordringene i å designe et slikt marked er mange. Det er spørsmål rundt utbygging og eierskap, fordeling av inntekter fra mellomlandskabler, og usikkerhet rundt hvilken kraftpris vindparkene kan oppnå i ulike markeder. Disse spørsmålene må koordineres og avklares før et europeisk havvind nett vil kunne realiseres. Utviklingen av havvind er avhengig av at EU klarer å koordinere en felles nettutbygging og regulere et felles marked for havvind.

Med de høye ambisjonene som EU har innenfor havvind er det trolig at de regulatoriske spørsmålene blir løst, det er også noe vi forutsetter i Lavutslippsscenarioet.



En storstilt utbygging av havvind krever en tilsvarende satsing på nettutbygging

Å avslutte subsidieringen av fossile brensler er et viktig politisk virkemiddel for å legge til rette for energiomstillingen globalt

Vannkraft produserer til lave kostnader og vannkraftverk med magasiner kan i tillegg levere svært fleksibel fornybar elektrisitet, noe som vil være essensielt for å kompensere for fluktasjoner i vind- og solkraft. Vannkraft er mer fleksibel enn gasskraft, kjernekraft og kullkraft, og kan også brukes til å lagre energi over dager, uker og sesonger. I tillegg har vannkraft noen av de laveste klimagassutslippene per enhet energi produsert i forhold til annen fornybar kraftproduksjon.

Vannkraften har vært gjennom en industrialisering over de siste hundre årene, og er derfor lenger fremme enn sol- og vindkraft i utviklingen. Det betyr også at det vil være en betydelig andel vannkraftverk som vil trenge opprustning og forbedringer. I 2030 vil 20 prosent av verdens vannkraftverk være over 55 år gamle, og IEA anslår at 45 prosent av økt kapasitet vil komme gjennom utbedringer på eksisterende kraftverk. Siden 2016 har årlig vekst i utbygd kapasitet ligget på rundt 1,8 prosent. Vannkraft er imidlertid kun mulig å bygge ut i visse geografiske områder. Det er forventet at vannkraft vokser frem mot 2050, men med en lavere vekstrate enn sol og vind, med en årlig vekst på rundt 1,5 prosent*. Vannkraftproduksjon vil gå forbi kull- og gasskraft i 2040 og forblir større enn havvind både i kapasitet og produksjon over perioden.

På bakgrunn av dette ender vi opp med knapt 80 prosent fornybarandel i kraftproduksjonen i 2050, og omtrent to tredjedeler kommer fra variable kilder som sol- og vindkraft.

I enkelte kullnasjoner, som Kina, India og Indonesia, vil ikke markedsdynamikken med lavere fornybarkostnader være nok. Kull er en

integret del av hele samfunnet i disse landene, og lokale kullpriser er ofte regulerte og betydelig lavere enn de globale kullprisene. IMF estimerer at underprising av fossile energikilder utgjorde over tre prosent av global GDP i 2017⁵⁴. Å avslutte subsidieringen av fossile brensler er et viktig politisk virkemiddel for å legge til rette for, heller enn å hindre, energiomstillingen globalt.

Kullkraft med karbonfangst og -lagring (CCS) er et mulig alternativ for de store kullnasjonene, men dette er en kostbar løsning. I Lavutslippsscenarioet får CCS en neglisjerbar rolle i kraftsektoren globalt da kostnadene blir høye i forhold til andre utslippsfrie alternativer. Et kull- eller gasskraftverk utrustet med CCS-teknologi vil ha høye driftskostnader og dermed lav brukstid.

CCS vil derimot være avgjørende for å kutte utslipp i sektorer som er vanskeligere å avkarbonisere gjennom elektrifisering som i industri med høy andel prosessutslipp, i forbrenning av avfall og til produksjon av blått hydrogen fra fossilgass (se kapittel 3). Eksempelvis kommer rundt 60 prosent av CO₂-utslippene i sementproduksjon fra kull bundet i råmaterialet kalkstein. Kullet frigjøres når kalksteinen varmes opp og her vil CCS være en god løsning. Innenfor avfallsforbrenning kommer nærmere 75 prosent av avfallet i dag fra biogene kilder, og om all CO₂ fanges i et søppelforbrenningsanlegg vil CCS bidra til negative utslipp, noe som er helt nødvendig for å komme til netto nullutslipp.

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



Vannkraft blir større enn kullkraft og gasskraft i 2040. Vannkraftverk med magasiner kan levere svært fleksibel fornybar elektrisitet

I Lavutslippsscenarioet anslås kjernekraft til å vokse med rundt 1 prosent per år fra i dag til 2050, primært drevet fram av vekst i Kina og India. Kjernekraft er en termisk teknologi uten CO₂-utslipp, men ny kapasitet er relativt kostbart sammenlignet med andre utslippsfrie alternativer. Europeisk kjernekraft har slitt med store forsinkelser og kostnadsoverskridelser. De høye kostnadene, tekniske utfordringer og politisk klima bidrar til at kjernekraften får en viktig, men begrenset rolle i Lavutslippsscenarioet. Mye av teknologiutviklingen innen kjernekraft i dag kommer innenfor Small Modular Reactors (SMR) der reaktorene er mindre og kan serieproduseres. Lavutslippsscenarioet antar at SMR oppnår kostnadsparitet med tradisjonell kjernekraft rundt 2040.

Fleksible løsninger gjør det mulig å dra nytte av billig kraft fra vind og sol

Våre analyser viser at det er mulig og økonomisk kostnadseffektivt å avkarbonisere kraftsystemene, i hovedsak med sol og vind. Kraftmarkedene kan håndtere den høye andelen variabel, fornybar kraftproduksjon som vi legger til grunn i Lavutslippsscenarioet*. Det finnes mange forskjellige fleksibilitetsløsninger, og særlig fornybar, regulerbar vannkraft er en god løsning for mange ulike typer fleksibilitetsbehov. Der muligheten finnes vil effektutvidelse av eksisterende vannkraft være en god utslippsfri løsning. Land uten forutsetninger for regulerbar vannkraft må ty til andre, dyrere løsninger. Batterier kan bidra med fleksibilitet for korte tidsperioder på én eller noen få timer. Prisene er høye i dag, men forventes å falle raskt, i takt med at det bygges stadig mer batterier. Elektrifiseringen av transport er særlig en driver for denne utviklingen og smart elbil-lading blir en viktig fleksibilitetskilde for kraft-

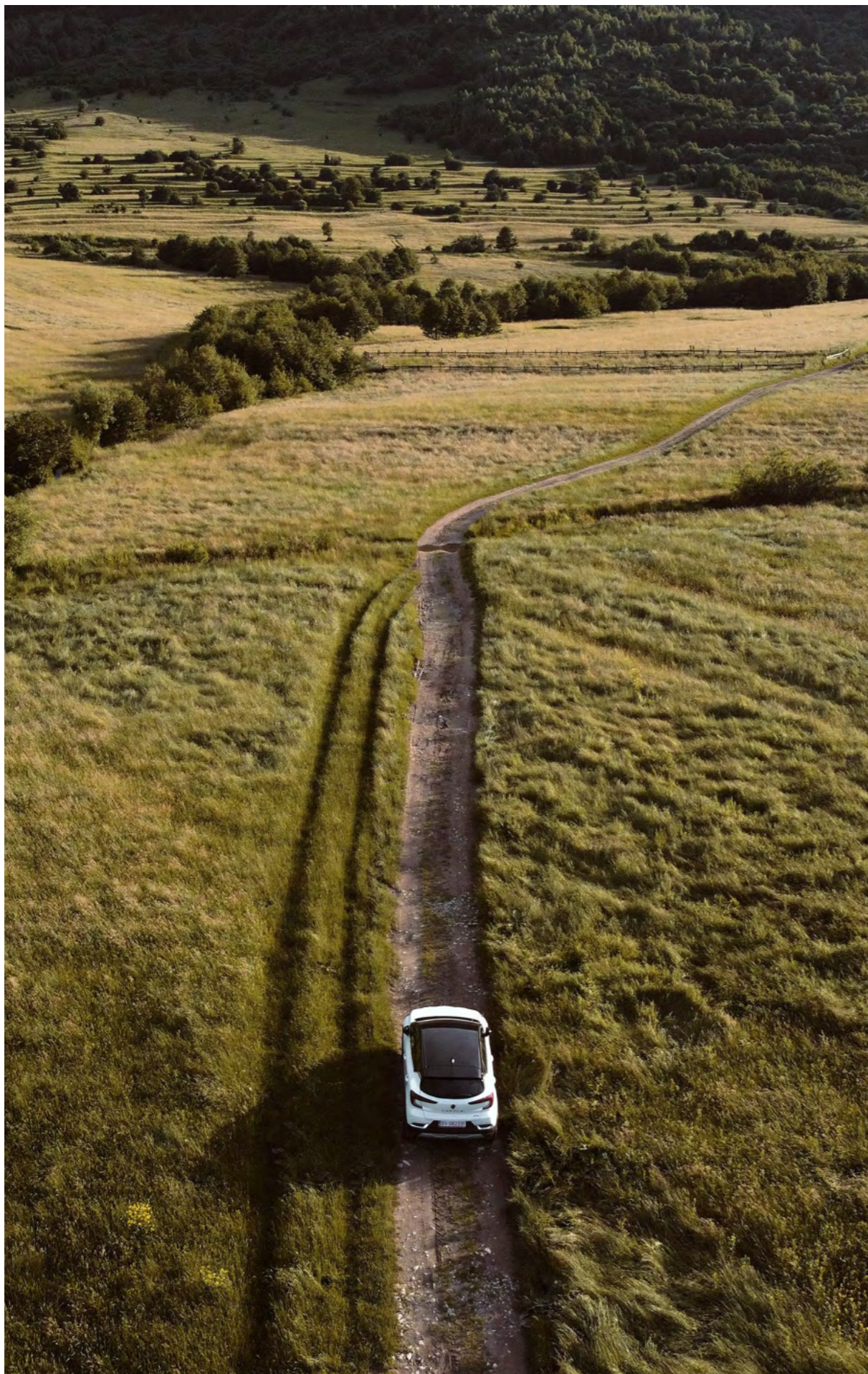
systemene framover. Batterier vil også kunne bidra til å veldig raskt (<1 sekund) reagere på ubalanser i systemet. Mange av batteriene som bygges i dag har dette bruksområdet. Til tross for at batterier reagerer så raskt reagerer de ikke umiddelbart, derfor trengs også fysisk tregghet i systemet (inertia**). Tradisjonelt har termiske kraftverk og vannkraft bidratt med dette i systemet, mens i framtiden kommer vannkraft og kjernekraft sammen med dedikerte synkrongeneratorer til å dekke dette behovet (se faktaboks 6).



Kraftmarkedene kan håndtere den høye andelen variabel, fornybar kraftproduksjon

* Vi kjører detaljerte kraftmarkedsmodeller time for time med ulike vær-år over ulike tidshorisonter for de landene og regionene der Statkraft er tilstede, både i Europa, Norden, Asia og Sør-Amerika.

** Inertia er et begrep innen fysikken som beskriver treggheten i all masse. Dette er en viktig egenskap i kraftsystemene for å holde frekvensen på riktig nivå, 50 Hz. Dette benevnes ofte som svingmasse eller roterende masse og er litt enkelt forklart summen av alle tunge ting som beveger seg i kraftsystemet.



Resirkulering vil være viktig for materialetterpørselen til batterier. Den eksponentielle veksten i elbiler og energilagring gjør imidlertid at resirkulering kun dekker en del av veksten i etterspørsel.

5

Energiomstillingens behov for mineraler og metaller

Den grønne energiomstillingen vil gi en stor økning i etterspørselen etter en del mineraler og metaller. I IEAs veikart til netto null (faktaboks 1) øker total etterspørsel etter mineraler seks ganger mot 2040. Økt satsing på fornybar kraftproduksjon, ulike typer av lagring av energi og elektrifisering av transportsektoren vil føre til en stor økning i behovet for batterier, solceller, vindturbiner og elektrisk infrastruktur⁵⁵.

Følgende mineraler og metaller er de mest kritiske:

- **Distribusjonsnett:** kobber, aluminium
- **Vindturbiner:** stål, kobber og sjeldne jordartsmetaller
- **Solceller:** stål, glass, aluminium, silisium, kobber og sølv
- **Batterier:** kobber, nikkel, litium, kobolt, mangan, grafitt og sjeldne jordartsmetaller

En rask energiomstilling vil medføre store investeringsbehov i utvinning og raffinering av disse kritiske mineralene.

Metaller som stål, aluminium og kobber har en rekke bruksområder også utenfor energiomstillingen. Den økte etterspørselen utgjør derfor en relativt mindre del av total etterspørsel, og markedet har vist seg historisk å kunne tilpasse seg en stor økning i etterspørsel over relativt kort tid. Det er også store reserver tilgjengelig av disse mineralene. Ståletterpørselen har doblet seg siden 2000, uten at prisene har økt nevneverdig.

For andre mineraler som kobolt, litium, nikkel og sjeldne jordartsmetaller, med få alternative bruksområder og relativt lite etterspørsel i dag, er det tilknyttet mer

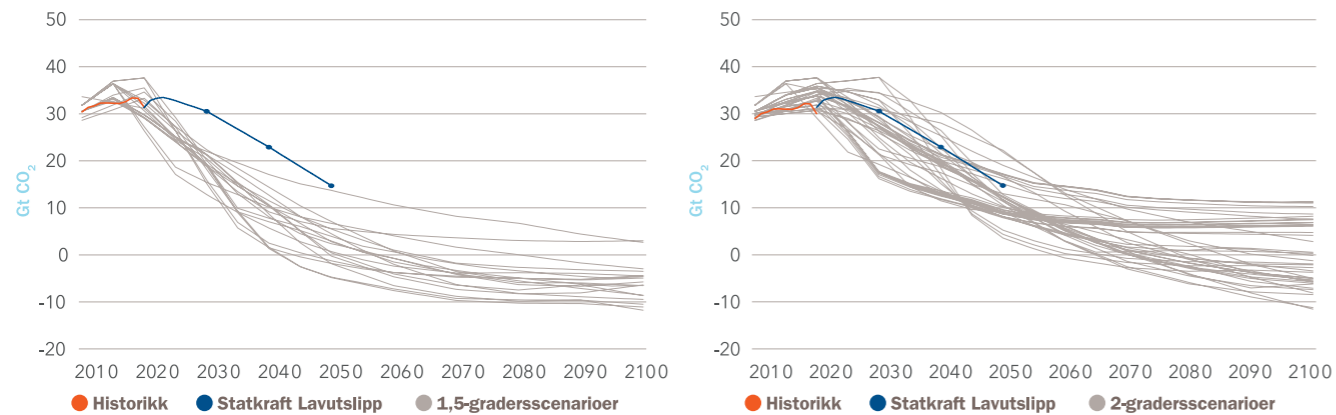
risiko. Produksjonen og/eller prosesseringen av en stor mengde av disse mineralene er i dag også konsentrert på en håndfull land og ofte i land med varierende grad av politisk, sosial og miljømessig risiko.

Tregheter og risiko på tilbudssiden kan føre til kortsiktige prisfluktasjoner som følge av tilbudsunderskudd av disse mineralene, men det er ikke ventet langsiktige, strukturelle prisendringer som vil føre til høyere kostnader for fornybare teknologier. I verste fall kan det utsette utviklingen med noen år. Skulle risikoen eller kostnadene bli for høye er det mulig å bytte ut materialene. Batteriteknologi kan tilpasses med blant annet mindre kobolt og mengden øvrige materialer kan reduseres. I dag er li-ion batterier mest brukt, men konkurrerende batterityper som bruker andre materialer vil også kunne være med på å redusere risikoen.

Resirkulering vil være viktig for materialetterpørselen til batterier, og ifølge industristandarder i Europa må selskap oppnå en resirkuleringsrate på 95 prosent for nikkel, kobolt og kobber innen 2030, og 70 prosent for litium. Den eksponentielle veksten i elbiler og energilagring gjør imidlertid at resirkulering kun dekker en del av veksten i etterspørsel.

16

Årlige energirelaterte CO₂-utslipp i Statkrafts Lavutslippsscenario sammenlignet med andre 2-graders-scenarioer (høyre) og 1,5-gradersscenarioer (venstre).^{57*}



løsningene får konkurrere i markedet på lik linje, uten at enkeltløsninger reguleres inn særskilt. Til tross for relativt store fleksibilitetsressurser forventer vi en betydelig endring i både døgn- og sesongprofilene i verden når det gjelder kraftpris og kraftproduksjon frem mot 2050. Dette er først og fremst drevet av den sentrale rollen solkraft får i kraftsystemet globalt

Lavutslippsscenarioet ligger an til å følge en 2-graders utslippbane

Energirelaterte klimagassutslipp står for rundt tre fjerdedeler av klimagassutslippene i verden⁵⁶. I Lavutslippsscenarioet vil globale energirelaterte CO₂-utslipp falle nesten 60 prosent fra i dag mot 2050, og vi ender opp med et årlig utslipp på rundt 15 gigatonn CO₂ i 2050. Kraftsektoren og transportsektoren står for de største energirelaterte CO₂-utslippene i dag og her vil utslippene falle med henholdsvis 60 og 70 prosent over perioden. Dette resulterer i at de energirelaterte CO₂-utslippene i Lavutslippsscenarioet er i tråd med FNs klimapanel 2-graders utslippbane, men utslippene faller fortsatt ikke raskt eller kraftig nok til å nå en 1,5-gradersbane (figur 16).

Skal verden begrense utslippene i tråd med en 1,5-gradersbane, må omstillingen skje i et enda raskere tempo og med enda større omfang enn i Lavutslippsscenarioet. I dag har temperaturen økt omtrent 1,1 grad fra pre-industriell tid. Dette innebærer at utslippsreduksjonene må skje mye raskere hvis temperaturøkningen skal begrenses til 1,5 grader sammenlignet med 2 grader. Dette sier også FNs Klimapanel (IPCC) som konstaterer at gjenværende karbonbudsjett nesten deles i tre hvis verden skal begrense

global oppvarming til 1,5 grader, sammenlignet med en 2 grader oppvarming. Globalt er gapet mellom utslippene fra Lavutslippsscenarioet og utslippene fra gjennomsnittsbanen til FNs klimapanel for 1,5 grader på rundt 10 gigatonn CO₂ i 2050. I tillegg faller utslippene vesentlig raskere. Som vist i figur 16 har alle 1,5-graders-scenarioene i grafen lavere globale energirelaterte CO₂-utslipp fram mot 2050 enn Lavutslippsscenarioet.

Stort sett alle scenarioer fra FNs klimapanel som er konsistente med 1,5 grader inkluderer netto negative CO₂-utslipp etter 2050, fordi det gjenværende karbonbudsjettet gjør det for krevende å kutte nok før 2050. Både naturlige løsninger som skogplanting, og teknologiske løsninger som bioenergi med karbonfangst og -lagring bidrar til å fjerne CO₂ fra atmosfæren.

Andre klimagasser enn CO₂, som CH₄, N₂O, SF₆, HFC-er og CFC-er, er ofte vanskeligere å begrense enn mange CO₂-kilder. 1,5 graders-scenarioene resulterer typisk i 30 prosent utslippsreduksjoner av andre klimagasser innen 2030, 50 prosent innen 2050 og 60 prosent innen 2100. Noen scenarioer har imidlertid mer aggressive utslippbane for andre klimagasser med nullutslipp allerede i 2050, noe som muliggjør litt høyere CO₂-utslipp fra enten fossil energi eller arealbruk, eller mindre CO₂-fjerning⁵⁸.

Covid-19 har vært en kostbar påminnelse om at store negative hendelser som virker usannsynlige med jevne mellomrom slår til. I klimasystemet ligger det mange terskelverdier som kan føre til store skader om de krysses. Eksempler på dette er smelting av permafrosten, kollaps av Grønlandsisen eller svekkelse av Golfstrømmen. Det å unngå slike ukjente

* Å si at utslippbane tilsvarer 1,5 grader eller 2 grader oppvarming er en forenkling. I figuren til venstre vises energirelaterte CO₂-utslipp fra scenarioer meldt i til FNs klimapanel som med 50 prosent sannsynlighet eller mer holder den globale oppvarmingen under 1,5 grader i slutten av århundret. Vi viser kun de scenarioene som eksplisitt rapporterer energirelaterte CO₂-utslipp. På samme måte viser figuren til høyre de scenarioene som med 50 prosent eller 66 prosent begrenser den globale oppvarmingen til under 2 grader. Usikkerheten kommer både an på antagelser om utslipp som ikke dekkes i Lavutslippsscenarioet, og på usikkerheten om hvor mye klimagasser påvirker den globale temperaturen.

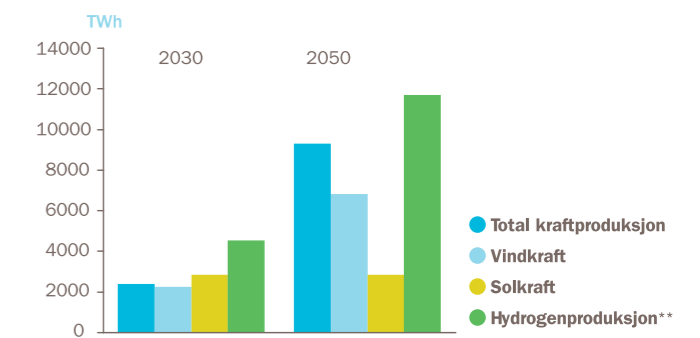
terskelverdier blir av mange trukket frem som en viktig grunn til å begrense global oppvarming ned mot 1,5 grader.

Den kortsiktige effekten av pandemien er at globale klimagassutslipp falt med seks prosent i 2020 som følge av lavere mobilitet, grunnet nedstengningene og den økonomiske nedturen. Skal temperaturøkningen begrenses ned mot 1,5 grader må globale utslipp falle med rundt like mye hvert år fremover. 2021 ligger an til å få en kraftig økning i globale klimagassutslipp på grunn av økt aktivitet. Hvis verden skal lykkes med å begrense global oppvarming ned mot 1,5 grader vil det kreve ytterligere forsterkning av politikk som følges opp av faktisk handling. Sammenlignet med Lavutslippsscenarioet vil med andre ord en 1,5-gradersbane kreve enda mer av alt, og alt må skje mye raskere.

Når vi analyserer de globale energisystemene, er det naturlig å sammenligne med IEA sitt netto nullutslippsscenario som viser én mulig løsning for å nå 1,5 grader. Vi ser da at etterspørselen etter primærenergi er lavere (-5%) i IEA sitt netto nullutslippsscenario i 2050 sammenlignet med Lavutslippsscenarioet, mens kraftetterspørsel, sol- og vindkraftproduksjon er høyere (henholdsvis 17, 15 og 44 prosent i 2050). Når vi nærmer oss nullutslipp er det prosentvis særlig utslippsfritt hydrogen som øker. IEA sitt netto nullutslippsscenario anslår tre ganger så mye utslippsfritt hydrogen sammenlignet med Lavutslippsscenarioet i 2050. Med økte klimambisjoner går fokus videre fra fornybar kraft og elbiler, der marked og teknologi allerede i dag driver mye av omstillingen, til andre sektorer som industri og langtransport, der utslippskutt er mer krevende og vil trenge mer politisk

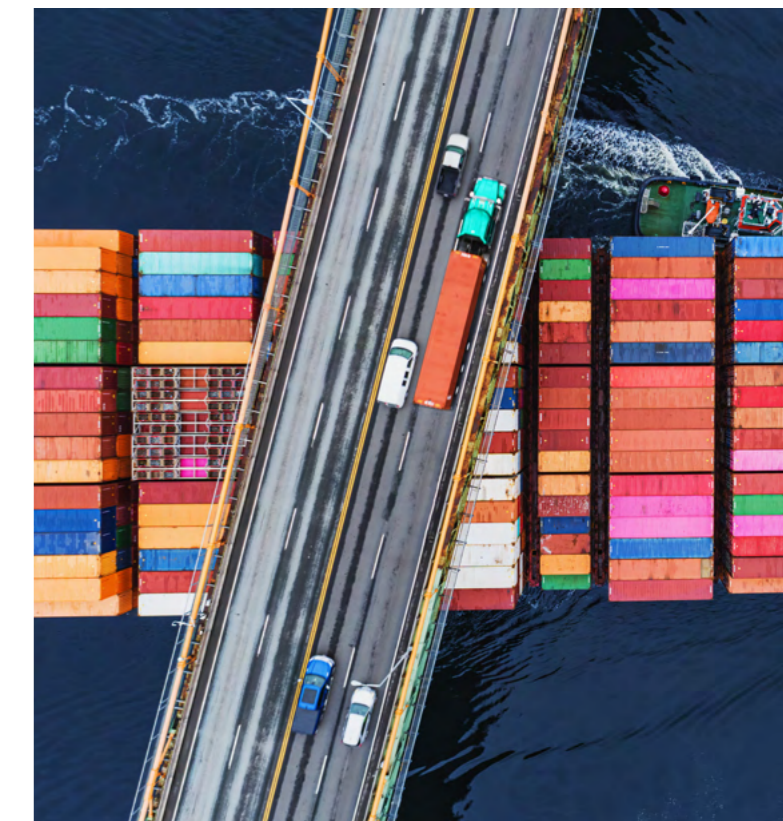
17

Forskjell mellom IEAs veikart for netto null og Lavutslippsscenarioet for sol- og vindkraftproduksjon, og kraft- og hydrogenproduksjon (TWh).



**TWh hydrogen basert på høyere brennverdi (HHV), 142 MJ/kgH₂

tilrettelegging. I disse sektorene vil utslippsfritt hydrogen bli viktig for å nå klimamålene. Utslippsfritt hydrogen er allerede en viktig klimaløsning i Statkrafts Lavutslippsscenario men den må skaleres opp mye raskere for en 1,5-graders utslippbane. Vi tar et dypdykk i utslippsfritt hydrogen i neste kapittel.



... Kraftsektoren og transportsektoren står for de største energirelaterte CO₂-utslippene i dag.

3



HYDROGEN ER
NØKKELEN TIL
NULLUTSLIPP



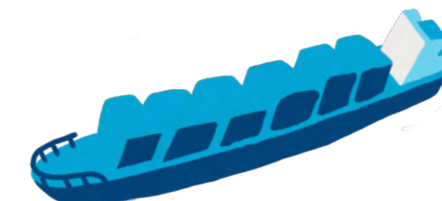
Det siste året har Europa tatt en ledende rolle globalt for å etablere en utslippsfri hydrogenindustri

2%

Verden produserer i dag 87 mill. tonn hydrogen. Dette utgjør omtrent to prosent av klimagassutslipp globalt

6%

I tillegg til hydrogenbruk som innsatsfaktor i industrien vil utslippsfritt hydrogen dekke rundt seks prosent av den globale energi- etterspørselen i verden i 2050



Økningen i den totale hydrogenetter- spørselen frem mot 2050 vil primært komme fra nye bruksområder for hydrogen, som for eksempel langdistansetransport

Hydrogen blir nødvendig for å komme til nullutslipp

Hydrogen er det eldste og mest utbredte grunnstoffet i universet. Hydrogen har blitt brukt i industrien i et århundre, og vi ser at utslippsfritt hydrogen blir en nøkkelløsning når land skal nærme seg nullutslipp og må kutte klimagasser i flere sektorer. Dette kapittelet dykker dypere ned i hydrogenets rolle i energi- omstillingen fram mot 2050, med fokus på samspillet mellom hydrogen og kraftmarkedet. Med hydrogen knyttes ulike sektorer enda tettere sammen. Kraftsektoren blir mer sentral og energisamspillet mer komplekst.

Om verden skal nærme seg nullutslipp, vil hydrogen bli en stadig viktigere bidragsyter. I dag er det stort fokus på å kutte utslipp i kraftsektoren og å bruke elektrisiteten direkte for å avkarbonisere bygg-, transport- og industri- sektoren. Med økte klimaambisjoner går fokus videre til områder der utslippskutt med elektrifisering er uhensiktsmessig. Dette gjør at utslippsfritt hydrogen vil få en større plass i energisystemet. Allerede i dag er det industriprosesser hvor hydrogen er foretrukket. Dette forbruket blir utslippsfritt hvis hydrogen produseres fra fornybar kraft (grønt hydrogen) og tilnærmet utslippsfritt fra fossilgass med karbonfangst og -lagring (blått hydrogen).

Vi står foran et industrielt kappløp om hydrogen. Stadig flere land satser nå på utslippsfritt hydrogen og per september 2021 har 20 land samt EU lansert egne hydrogenstrategier. I tillegg har 23 land strategier under utarbeidelse, blant annet USA, Kina og Brasil. Dette er over dobbelt så mange som i januar i år. Det siste året har Europa tatt en ledende rolle globalt for å etablere en utslippsfri hydrogenindustri, både når det gjelder målsetning, finansiell støtte og antall prosjekter⁵⁹.

Hydrogenetterspørsel - hvert bruks- område møter ulik konkurranse

Hydrogen har mange ulike anvedelsesmuligheter. Hydrogen brukes allerede i dag i industrien, i hovedsak som innsatsfaktor til å produsere ammoniakk for å lage kunstgjødsel, til metanol- produksjon og til oljeraffinerier. I dag produseres det rundt 87 millioner tonn hydrogen og rundt 90 prosent produseres fra fossil gass, olje og kull uten karbonfangst, noe som utgjør omtrent 2 prosent av verdens klimagass- utslipp⁶⁰.

Hydrogenetterspørselen er i dag splittet nesten femti-femti mellom oljeraffinerier og ammoniakk- produksjon i industrien. I Lavutslippsscenarioet vil dagens fossile hydrogenproduksjon som innsatsfaktor til industrien i hovedsak bli erstattet av både grønt og blått hydrogen mot 2050. I tillegg til hydrogenbruk som innsatsfaktor i industrien vil utslippsfritt hydrogen dekke rundt fem prosent av den globale energi- etterspørselen i verden i 2050. Økningen i den totale hydrogenetterspørselen frem mot 2050 vil primært komme fra nye bruksområder for hydrogen, som for eksempel stålindustrien og langdistansetransport (inkludert utslippsfri ammoniakk til maritim transport). I slutten av perioden vil vi også se noe hydrogenetterspørsel innenfor bygg- og kraftsektoren (figur 18).

Våre analyser for Europa viser at utslippsfritt hydrogen i mange tilfeller blir det mest kostnads- effektive alternativet i sektorer hvor det er vanskelig å avkarbonisere ved bruk av direkte elektrisitet, for eksempel for tyngre transport over lengre avstander, industri med høytem- peratur varmeprosesser og som innsatsfaktor i visse typer av industrielle prosesser, som ammoniakkproduksjon. I tillegg ser vi at kunder og investorer i økende grad etterspør klimavennlige produkter i hele verdikjeden, eksempelvis grønt stål til bilindustrien. De neste avsnittene ser på hydrogenpotensialet i detalj innenfor de ulike etterspørselssektorene der vi ser at hvert bruks- område for hydrogen møter ulik konkurranse.

Utslippsfritt hydrogen i mange farger

Det er mulig å produsere hydrogen fra mange energikilder, både med og uten utslipp. For å forenkle kommunikasjonen, er det blitt vanlig med et fargesystem som indikerer hvordan hydrogenet blir produsert. De fargene som er hyppigst brukt er grått, blått og grønt hydrogen. Disse tre er videre diskutert i dette kapittelet.

Det er også andre farger som kan dukke opp i artikler eller debatter. To andre farger å legge merke til er rosa hydrogen og turkist hydrogen. Både rosa og turkist hydrogen regnes også som utslippsfritt hydrogen

*Hydrogen fra elektrolyse kalles "grønt" når kraften kommer direkte fra et dedikert fornybar energi kraftverk, er koblet til kraftnettet og kombineres med opprinnelsesgarantier, eller kommer fra et helt avkarbonisert kraftsystem. Opprinnelsesgarantier er en EU-ordning etablert som en del av Fornybardirektivet for å kunne spore hvor klimavennlig energien som brukes er. Muligheten til å spore klima- og miljøavtrykk av produkter og tjenester gjennom verdikjeden blir viktigere og viktigere både for investorer, forbrukere, selskaper og myndigheter. Ordningen er lovpålagt for medlemslandene, mens sertifikatene som dokumenterer energibruken er frivillig å kjøpe for forbruker og sluttbruker. Ordningen er nå utvidet fra elektrisitet til også å inkludere hydrogen og andre fornybare gasser og ble ytterligere styrket som en del av EU sin "Fit for 55"-lovpakke der det også foreslås flere delmål for fornybart hydrogen og hydrogenbasert syntetiske drivstoff.



Fornybar energi

Grønt hydrogen er 100 % utslippsfritt og produseres gjennom elektrolyse med fornybare energikilder som vann-, sol- eller vindkraft*



Gass med karbonfangst og -lagring

Blått hydrogen produseres også med fossilgass, men inkluderer karbonfangst og -lagring, og regnes derfor som utslippsfritt, selv om teknologien typisk fanger opp 90-95 % av utslippene.



Gass uten karbonfangst og -lagring

Grått hydrogen er hydrogen produsert fra fossilgass og slipper ut CO₂. I et livsløpsperspektiv kommer også metanutslipp fra gassen.

Hydrogen



Gass med pyrolyse

Turkist hydrogen som er hydrogen som bruker fossilgass og pyrolyse, hvor karbonet kommer som et bi-produkt som forblir i fast form. Dette er relativt kostbart og forventes ikke i store volum fram mot 2050.

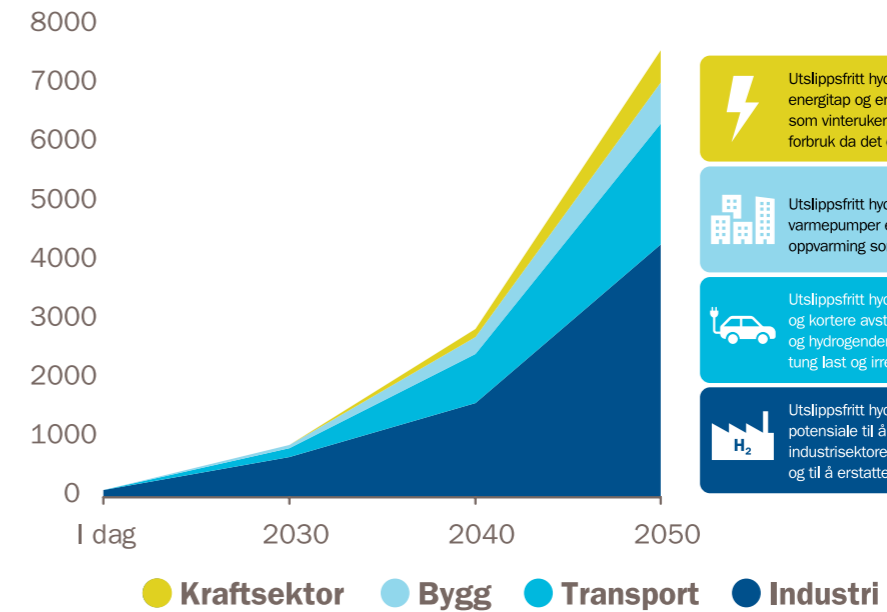


Kjernekraft

Rosa hydrogen som refererer til hydrogen produsert med elektrisitet fra kjernekraft.

18

Global etterspørsel etter utslippsfritt hydrogen per sektor (TWh)



Utslippsfritt hydrogen til kraft: gir 60-70 prosent energitap og er derfor mest aktuelt i noen situasjoner som vinteruker med lav fornybarproduksjon og høyt forbruk da det er få alternativer

Utslippsfritt hydrogen til bygg: elektrifisering gjennom varmepumper er mer effektivt enn hydrogen til oppvarming som antas å kun komme i liten skala

Utslippsfritt hydrogen til transport: For mindre kjøretøy og kortere avstander vil batteri foretrekkes. Hydrogen og hydrogenderivater vil ha fordeler ved langtransport, tung last og irregulært kjøremønster

Utslippsfritt hydrogen til industri: hydrogen har stort potensiale til å avkarbonisere store deler av industrisektoren både i form av høytemperatur varme og til å erstatte grått hydrogen som innsatsfaktor

Utslippsfritt hydrogen i transport

Innenfor transportsektoren vil hydrogen og hydrogenderivater generelt ha fordeler ved frakt av tung last over lengre avstand

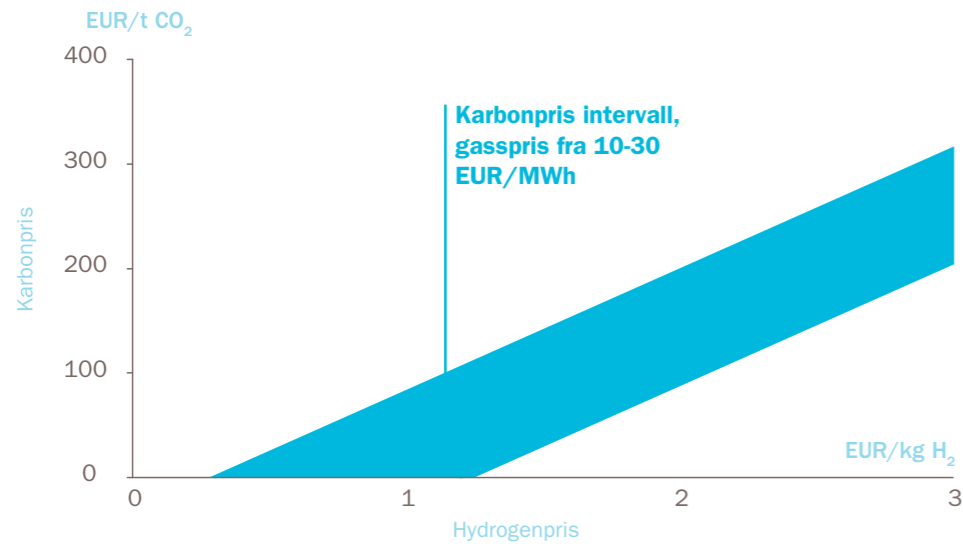
Veitransport står for rundt tre fjerdedeler CO₂-utslippene fra transportsektoren. Her anslår vi at utslippsfritt hydrogen vil ha en rolle i tungtransport over lengre avstander ettersom batterielektriske lastebiler vil utfordres på vekt og størrelse for batterier og fylletid. Vanlige personbiler og mindre lastebiler forventes i all hovedsak å bli batterielektriske. Utrulling av hydrogen- og batterielektriske kjøretøy vil kreve store investeringer i infrastruktur (se kapittel 2). Både innkjøpskostnad og levetidskostnad er lavest for dieseldrevne lastebiler i dag, mens kostnadene for både batteri- og hydrogendrevne lastebiler forventes å falle betydelig de neste 10-20 årene. Både i Europa, USA og andre steder i verden forventes strengere utslippskrav for tungtransport framover. I Lavutslippsscenarioet har vi lagt til grunn at både batteri- og hydrogendrevne lastebiler blir konkurransedyktig med diesel innen 2030 (levetidskostnad, inkl. karbonskatt). Valg mellom batterielektrisk eller hydrogendrevet lastebil avhenger primært av behov rundt kjøretid, last og fleksibilitet. Innkjøpskostnaden for selve kjøretøyet forventes å konvergere rundt 2040. For bykjøring og lokal varetransport med relativt regulært kjøremønster forventer vi at batterielektriske lastebiler foretrekkes, mens hydrogendrevne lastebiler vil ha en rolle innen langdistanse tungtransport, transport med irregulært kjøremønster eller med krav til høy oppetid.

Utslippsfritt hydrogen til transport: Utslippsfritt hydrogen blir også viktig for å avkarbonisere **maritim transport**. For ferger og elvebåter over kortere avstander vil batterielektrisk eller komprimert hydrogen med brenselceller være et alternativ. For hurtigbåter og mellomlang kystfart vil også komprimert hydrogen være egnet. For ruter over lengre avstander får komprimert hydrogen lagringsproblemer grunnet lav energitetthet. Flytende hydrogen vil ha høye konverteringskostnader og krever ekstremt lav temperatur. Dermed seiler ammoniakkskip opp som et aktuelt utslippsfritt alternativ for lengre distanser til sjøs, da utslippsfri ammoniakk har bedre energitetthet enn komprimert og flytende hydrogen. Grønn ammoniakk produseres fra grønt hydrogen og nitrogen, og kan brukes som drivstoff i brenselcelle eller i en forbrenningsmotor. Det produseres årlig rundt 150 millioner tonn fossil ammoniakk i dag som fraktes på skip og det finnes derfor allerede en opparbeidet infrastruktur. Ammoniakk er en giftig gass som krever strenge sikkerhetsrutiner, og forventes derfor å ikke bli brukt på skip med passasjerer. Ettersom dagens maritime drivstoff er både billig og har høy energitetthet, viser våre analyser at utslippsfrie alternativer ikke vil bli konkurransedyktige uten en høy karbonpris og politisk tilrettelegging. Det vil ta tid å omstille skipsfarten og Lavutslippsscenarioet anslår at grønn ammoniakk primært kommer fra 2030 og utover. Omstillingen i maritim sektor må skje betydelig raskere for å være i tråd med en netto nullutslippbane. Innenfor annen transport, som **luftfart**, vil også utslippsfritt hydrogen få en rolle primært i form av syntetisk drivstoff når verden skal nå netto null.

19

Karbonpris som kreves for at grønt hydrogen skal være konkurransedyktig mot grått hydrogen i ammoniakkproduksjon*

* 1 EUR/kg hydrogen tilsvarer 25,4 EUR/MWh (HHV)



Utslippsfritt hydrogen i industrien

Industriektoren står for 24 prosent av verdens CO₂-utslipp, hvorav omtrent 60 prosent kommer fra energibruk og 40 prosent fra prosessutslipp. Våre analyser viser at utslippsfritt hydrogen har et stort potensial til å avkarbonisere store deler av industriektoren, både i form av energi til varme og som innsatsfaktor. Hydrogen er godt egnet til å oppnå **høytemperatur varme** i industrien, mens elektrisitet i form av varmpumper og elkjeler er mest anvendelig for lav- og mediumtemperatur varme under 500°C.

I Lavutslippsscenarioet dekker utslippsfritt hydrogen syv prosent av den globale energietterspørselen innenfor industri i 2050. I en 1,5-gradersbane vil denne andelen øke. I Lavutslippsscenarioet vil i tillegg industri som i dag bruker fossilt hydrogen som innsatsfaktor legge om til å bruke utslippsfritt hydrogen.

Stålindustrien står i dag for rundt syv prosent av verdens CO₂-utslipp. De største utslippene kommer fra å skille ut jern fra jernmalmen som brytes i gruver. Den vanligste metoden å utvinne jern er ved bruk av en masovn som fyres med kull. I denne prosessen fungerer kull både som reduksjonsmiddel og energikilde. Ved å tilsette hydrogen i masovnen blir prosessen mer effektiv og det er mulig å kutte opp til 20 prosent av CO₂-utslippene. Den andre metoden for å skille ut jern fra jernmalm på er en prosess som kalles direktereduksjon av jern. Ved direktereduksjon av jernmalm lages jernpellets som kan brukes i den videre framstillingen av stål. Fossilgass har historisk blitt brukt i denne prosess og er derfor vanlig i land med store gassressurser. Fossilgassen kan fullt ut

erstattes med utslippsfritt hydrogen og dermed kan prosessen bli helt utslippsfri⁶¹.

Å utvinne råjern eller jernpellets fra jernmalm er den mest utslippsintensive delen av framstillingen av stål. Å gå videre fra jern til stål kan gjøres med en elektrisk smelteovn som er en utslippsfri metode hvis elektrisiteten kommer fra utslippsfrie kilder. Denne prosessen er kommersiell i dag og brukes mange steder i verden. I en elektrisk smelteovn kan også jernpellets blandes med resirkulert stål⁶².

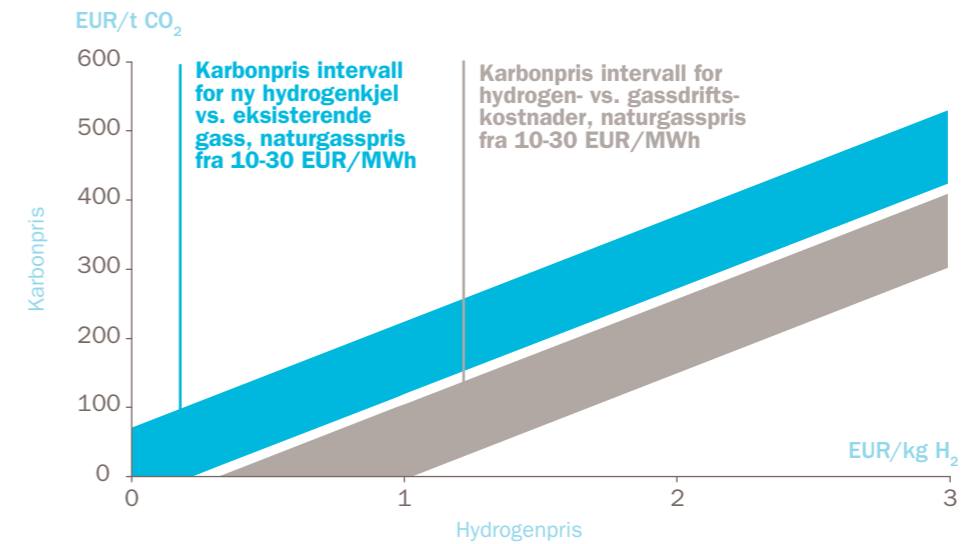
Ammoniakkindustrien dekker i dag omtrent 50 prosent av den globale hydrogenetterspørselen, tilsvarende én prosent av de globale CO₂-utslippene, og utslippsfritt hydrogen kan relativt lett erstatte dagens bruk av fossilt hydrogen. Ammoniakkproduksjon foregår ved at hydrogen tilføres nitrogen i en Haber-Bosch prosess og konverteres til ammoniakk (NH₃). Med et økende press for å avkarbonisere på tvers av sektorer, vil det også komme nye bruksmuligheter for utslippsfri ammoniakk, både som drivstoff i maritim sektor, og som energibærer.

Vi har sammenlignet kostnadene for ammoniakk med grønt og grått hydrogen. Våre analyser viser at grønn ammoniakk vil trenge en karbonpris på mellom 100-200 EUR/tonn CO₂ for å være konkurransedyktig med grå ammoniakk gitt en grønn hydrogenpris på 2 EUR/kg og en gasspris på mellom 10-30 EUR/MWh (figur 19). Ammoniakkproduksjon med Haber-Bosch krever jevn tilførsel av hydrogen. Derfor er det lagt til grunn at elektrolyseren er tilkoblet kraftnettet. For at optimalisering av kraftprisene skal være mulig, er elektrolyseren også tilkoblet et lite lager for å kunne dekke flatt ukekonsum.

20

Karbonpris som kreves for at en hydrogenkjel skal være konkurransedyktig med eksisterende gasskjel i oppvarming av bygg**

*** Antatt varmebehov på 10 000 kWh/år, virkningsgrad for gass- og hydrogenkjel er henholdsvis 92% og 90%. Karboninnhold i gass som innsatsfaktor er 201 kg/MWh og 1 EUR/kg hydrogen tilsvarer 25,4 EUR/MWh (HHV)



Analysen tar utgangspunkt i en alkaline elektrolyser lokalisert nær Haber-Bosch-produksjonen. Vi antar like transportkostnader for grønt og grått hydrogen. Kostnader forbundet med vann til hydrogenproduksjonen samt distribusjon og lagring av ammoniakken er ikke tatt hensyn til**.

Utslippsfritt hydrogen i bygg

I dag står oppvarming i bygg for rundt seks prosent av de globale CO₂-utslippene grunnet bruk av fossil gass, kull og olje. I Lavutslippsscenarioet vil avkarbonisering av oppvarming i bygg hovedsakelig skje gjennom direkte elektrifisering med elkjeler, elektriske varmeovner eller varmpumper, ettersom dette er mer effektive løsninger enn utslippsfritt hydrogen⁶³.

Vi har sett på konkurransen mellom hydrogen og fossilgass for **oppvarming**. For at hydrogenkjeler skal utkonkurrere eksisterende gasskjeler til oppvarming i en husholdning, vil det kreves en høy karbonpris i samspill med et kraftig kostnadsfall på hydrogen. I tillegg må kostnaden for hydrogenkjeler komme ned i pris. Våre analyser viser at en ny hydrogenkjel vil trenge en karbonpris på rundt 300 EUR/tonn CO₂ for å være konkurransedyktig med eksisterende gassoppvarming med en hydrogenkostnad på 2 EUR/kg og en gasspris mellom 10-30 EUR/MWh (figur 20). Utslippsfritt hydrogen blir relativt mer konkurransedyktig i forhold til fossilgass dersom skiftet til utslippsfritt hydrogen skjer når det uansett er nødvendig med en utskiftning eller oppgradering av eksisterende gass-systemer. Dette vil si at overgangen til utslippsfritt hydrogen vil kreve mindre støtte i nybygg enn i eksisterende boliger.

Lavutslippsscenarioet anslår at utslippsfritt hydrogen vil dekke opp mot to prosent av den globale energietterspørselen i bygg i 2050.

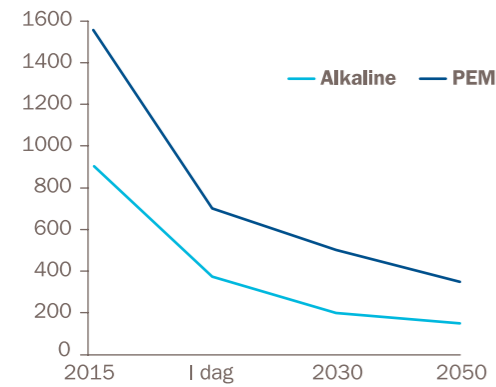
Hydrogen møter konkurranse i alle sektorer

I alle sektorer ser vi at de ulike bruksområdene for utslippsfritt hydrogen vil møte konkurranse fra alternative fossile og utslippsfrie løsninger. Der direkte bruk av elektrisitet er mulig, som for elbiler og varmpumper til husholdninger, vil en høyere virkningsgrad gjøre dette mer kostnadseffektivt enn utslippsfritt hydrogen. Mens for bruksområder der det er få utslippsfrie alternativer forventes utslippsfritt hydrogen å bli attraktivt med økende klimaambisjoner. Eksempler på dette vil være å bytte ut dagens fossile hydrogenproduksjon i industrien med utslippsfritt hydrogen og å bruke utslippsfritt hydrogen og ammoniakk for å frakte større last over lengre avstander. For å øke konkurransedyktigheten til utslippsfritt hydrogen må kostnadene falle betydelig. For grønt hydrogen vil samspillet med kraftmarkedet være en viktig kostnadsdriver, og vi vil nå gå dypere inn i dette.

** Grønt hydrogen lages ved å splitte vannmolekyler til oksygen og hydrogen ved hjelp av elektrolyser. For 1 kg grønt hydrogen trengs ca 10 kg destillert vann som tilsvarer 15-20 kg ferskvann. Rensning av vann utgjør rundt 5 - 6 % av kostnadene for å produsere hydrogen. Det forventes å være nok vann tilgjengelig, enten ferskvann eller i form av desalinering av saltvann. Vannbruk forventes ikke å begrense utviklingen av grønt hydrogen.

21

Elektrolyserkostnader, 100 MW (EUR/kWh)



Hydrogenproduksjon og samspillet med kraftmarkedet

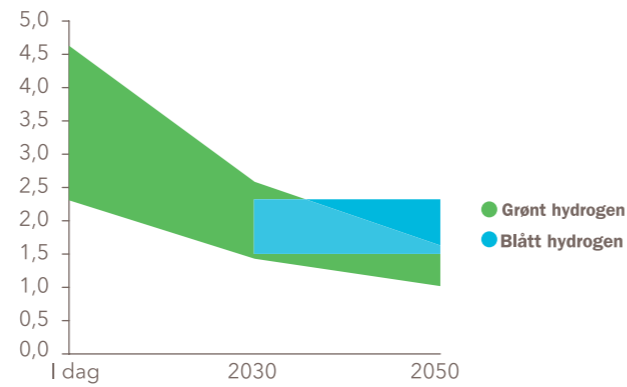
I Lavutslippsscenarioet øker etterspørselen etter kraft med ti prosent i 2050 på grunn av grønt hydrogen, men det er store regionale forskjeller. I Europa, med høye klimaambisjoner, øker kraftetterspørsel med 20 - 25 prosent i 2050. Dette tilsvarer over 1 000 TWh med ny, utslippsfri kraftproduksjon. Dette høres mye ut, og er mye, men økningen kan håndteres fordi kraftetterspørselen er fleksibel, særlig når elektrolyser knyttes sammen med lagerløsninger.

Grønt hydrogen og kraft spiller sammen på flere nivåer, noe som gjør markedene og analysene komplekse. I våre kraftmarkedsmodeller ser vi at hydrogen får økende betydning for kraftsystemene i Europa mot 2050, samtidig som kraftpris blir stadig viktigere for hydrogenkostnadene etter hvert som elektrolyserkostnadene faller.

Kostnaden for elektrolyser og kraftprisen er avgjørende for hvor dyrt grønt hydrogen blir, mens kostnader for vann er relativt beskjedne. De siste fem årene har kostnadene for elektrolyser falt med rundt 60 prosent og kostnadene forventes å falle videre på grunn av økt standardisering, automatisering og teknologiforbedring. Vi forventer at investeringskostnadene for grønn hydrogenproduksjon kan falle ytterligere 60 prosent fram mot 2050. Våre analyser viser at utslippsfritt hydrogen vil produseres både fra fornybar kraft via elektrolyser (grønt) og fra fossilgass med karbonfangst og -lagring (blått) og disse vil komplementere hverandre, blant annet ved å benytte en felles infrastruktur. (se figur 21 og 22).

22

Produksjonskostnad for grønt hydrogen uten nettilkobling i forhold til blått (EUR/kg) (ekskl. transport og lagring)



Der kostnaden for grønt hydrogen er avhengig av elektrolyserkostnaden og kraftprisen, er blått hydrogen avhengig av kostnaden for fossilgass, samt kostnadene for karbonfangst og -lagring. Kapitalkostnaden for blått hydrogen vil være betydelig høyere enn grå hydrogenproduksjon uten karbonfangst. Samtidig vil driftskostnadene øke. I tillegg kan kostnadene for transport og lagring av karbon være betydelige.

Kostnadene for å få hydrogen fram til sluttbruker vil også i stor grad avhenge av behovet for lagring og transport av hydrogen, samt etterspørselsprofilen hos kunden.

Hydrogenproduksjon tilkoblet kraftnettet er oftest mest optimalt

For kraftsystemet er det viktig at den økte kraftetterspørselen fra produksjon av grønt hydrogen er fleksibel, både innenfor timer, dager, uker og måneder. Dette gir gode forutsetninger for å dekke kraftetterspørselen til hydrogenproduksjonen med fornybar kraft. Våre analyser viser at grønn hydrogenproduksjon tilkoblet kraftnettet er en bedre løsning enn hydrogenproduksjon helt frakoblet nettet i de fleste tilfeller. Grunnen til dette er at det blir mulig å utnytte ressursene i det sektorkoblede kraftsystemet på en mest mulig effektiv måte.

Grønt hydrogen koblet til kraftnettet kan dra nytte av fleksibilitetsevnen til å produsere når det er mye kraft i systemet og lave kraftpriser, som ofte inntreffer når det er mye sol og vind. Dette gir lavere produksjonskostnader for hydrogen i tillegg til at det bidrar til balansering av kraftnettet som er nødvendig med mye variabel kraftproduksjon fra sol og vind. Siden hydrogenetterspørsel ofte ikke samsvarer direkte med de timene det er mye sol og vind, og lave kraftpriser, vil det raskt bli behov for lager. Sesonglager kan brukes for markeder med tydelige prisforskjeller mellom sesonger, for eksempel i Europa. Saltgrotter egner seg godt til hydrogenlagring og ser ut til å gi lavest kostnad per volum hydrogen lagret.

De siste fem årene har kostnadene for elektrolyser falt med rundt 60%

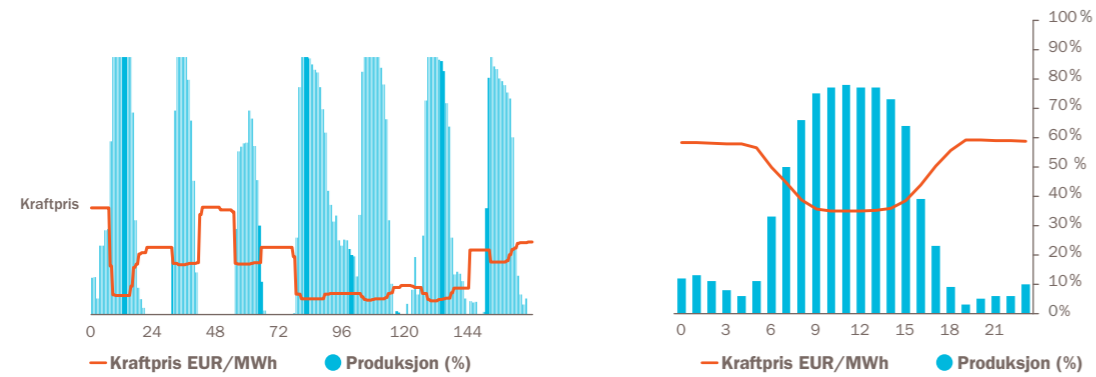
Ettersom hydrogen kan produseres fleksibelt bidrar grønn hydrogenproduksjon isolert sett til å løfte de laveste kraftprisene i kraftsystemet. Dette igjen bidrar til at fornybar kraftproduksjon blir mer lønnsom på grunn av høyere kraftpris i timer med mye sol- og vindkraft*. Hvordan markedsdynamikken i fremtiden utvikler seg avhenger blant annet av hvor mye hydrogenlager og -infrastruktur som bygges, hvor godt utbygget og integrert kraftnettet er, omfang av andre fleksibilitetsløsninger, samt skatter og avgifter på kraft sammenlignet med hydrogen.

Samarbeid mellom land bidrar til å gjøre hydrogenproduksjonen så rimelig som mulig

* Fleksibel hydrogenproduksjon reduserer også antall timer der kraftverket må stenge variabel kraftproduksjon for å balansere nettet («curtailment»)

23

Hydrogenproduksjon time for time som funksjon av kraftpris over uken og dagen



Hydrogenproduksjon er fleksibel. I framtiden kommer elektrolysører særlig til å kjøre om dagen. Graf til venstre viser time for time produksjon av grønt hydrogen i forhold til kraftpris over uken og graf til høyre viser tilsvarende over dagen.

I takt med at elektrolysører blir mer fleksible, er det også mulig å levere systemtjenester med en elektrolysør*. Det innebærer at elektrolysører ikke bare kan produsere fleksibelt innenfor uker, dager og timer, men at de også kan være fleksible nok til å skru av eller på produksjonen i løpet av noen minutter for å hjelpe kraftsystemet med å håndtere kortsiktige ubalanser grunnet prognosefeil for sol og vind, utfall av kraftverk, etc.

Grønn hydrogenproduksjon med uregulerbar fornybar kraft helt frakoblet nettet kan bli aktuelt, spesielt i isolerte områder og i områder med svakt utbygd kraftnett. Dette vil som oftest kreve store lagerløsninger ettersom hydrogenproduksjonen blir variabel mens behovet for hydrogen oftest er jevnt, noe som driver opp kostnadene. Store hydrogenlager blir spesielt kostbare hvis hydrogenproduksjonen er knyttet til solkraftverk i de deler av verden som har en tydelig sommer-vinter profil på solinnstrålingen.

Kraftprisvariasjonene vil gjøre det lønnsomt å bygge ut infrastruktur for lagring og transport

I dag produseres grått hydrogen i hovedsak nær forbrukerne, men det eksisterer rundt 2 600 km med hydrogenrørledninger i Europa og USA som allerede i dag frakter 100 prosent hydrogen til bruk i industrien. Utslippsfritt hydrogen forventes å produseres og distribueres lokalt allerede før 2030, enten i industriklynger eller ved fyllestasjoner langs vei eller i havner. Utbygging av hydrogeninfrastruktur for større volum og lengre avstander vil gradvis bli mer aktuelt parallelt med økende hydrogenetterspørsel og høyere fornybarandel i kraftmiksen.

Våre analyser viser at kostnadene ved å produsere grønt hydrogen varierer betydelig mellom

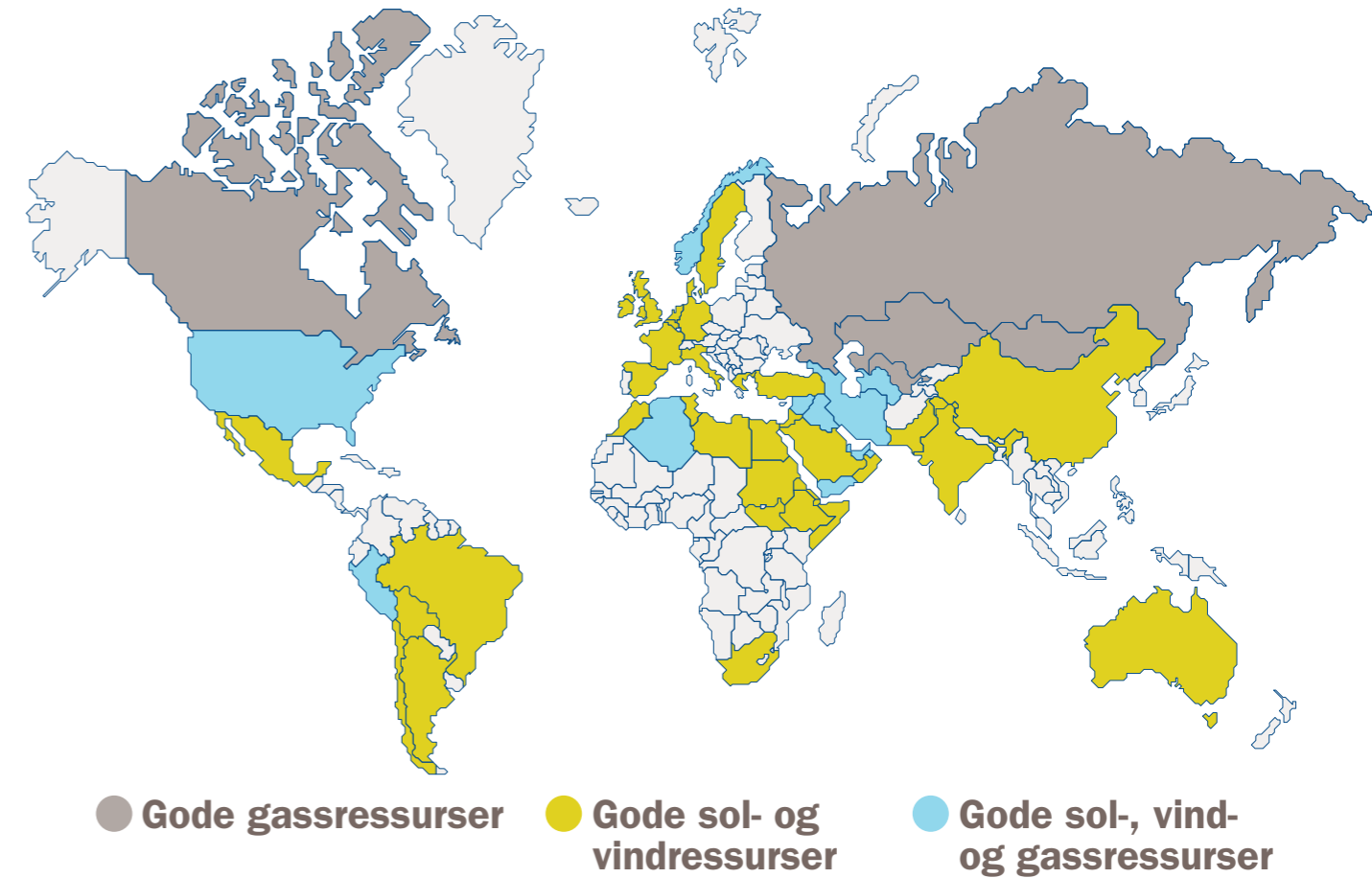
land og mellom måneder. Prisvariasjonene mellom måneder og mellom land i Europa fram mot 2050 vil gjøre det lønnsomt å bygge ut infrastruktur for sesonglagring og regional transport. På den måten kan hydrogenproduksjonen kjøres mest mulig fleksibelt og bedre utnytte de samlede fornybarressursene i kraftsystemet.

Hvis hydrogeninfrastrukturen er dårlig utbygd, blir løsningen typisk et lite lager i tilknytning til enten forbruker eller produsent. Dette gjør det mulig å kjøre elektrolysøren fleksibelt over døgnet, men ikke så mye mer. Denne løsningen gir typisk høye hydrogenkostnader på vinteren i mange land siden solkraftproduksjonen er lav og kraftetterspørselen er høy. Dersom infrastrukturen bli bedre og dekker områder hvor hydrogen kan lagres over sesonger, kan grønn hydrogenproduksjon også utnytte kraftprisforskjellen innenfor året og produsere mesteparten av hydrogenet som trengs på sommeren. Hydrogenproduksjonen antas i framtiden i stor grad å følge profilen til solkraft. Sesonglager påvirker både hydrogenkostnader og kraftmarkedene. Eksempelvis vil økt bruk av sesonglager i Tyskland redusere månedlig kraftpris om vinteren og løfte kraftprisen om sommeren. Våre kraftmarkedsmodeller viser en månedlige kraftprisendringer på mellom 10-25 prosent i 2050 når vi øker sesonglager fra halvparten av hydrogenetterspørselen til å dekke tre fjerdedeler.

Hydrogeninfrastruktur gjør det mulig å knytte områder med mye variabel fornybar kraftproduksjon sammen med større etterspørselsentre innenfor et land eller mellom regioner, for eksempel fra nord til sør i Tyskland eller fra Sør-Europa til Nordvest-Europa (se figur 24 og faktaboks 8 for en oversikt over transport- og lagerløsninger).

Kart

Gode gass- og fornybarressurser for hydrogenproduksjon



* Noe særlig elektrolysører av typen PEM (Polymer electrolyte membrane) har mulighet til.

Ulike lager og transportløsninger gir ulik kostnad for grønt hydrogen levert – sammenligning av fire case for Tyskland i 2050

Tyskland bruker i dag rundt 55 TWh med hydrogen til industrien, primært fra fossil energi. I juni 2020 lanserte Tyskland en nasjonal hydrogenstrategi med mål om å bygge opp en nasjonal grønn hydrogenindustri. Dette innebærer blant annet et mål om å bygge 5 GW med elektrolyserkapasitet innen 2030, samt betydelig import av utslippsfritt hydrogen⁶⁴. Vi har sammenlignet kostnadene for å levere grønt hydrogen til Tyskland i 2050 via fire ulike måter der vi legger til grunn at etterspørselen er jevn over året:

- **Case 1:** Produsere grønt hydrogen lokalt i Tyskland uten sesonglager
- **Case 2:** Produsere grønt hydrogen lokalt i Tyskland med sesonglager
- **Case 3:** Produsere grønt hydrogen i Sør-Italia og transportere via rørledning til Tyskland
- **Case 4:** Produsere grønt hydrogen i Chile og transportere via grønn ammoniakk på skip til Tyskland og konvertere tilbake til hydrogen

På grunn av hydrogenets lave volumetriske energitetthet vil det påløpe høye kostnader med en gang hydrogen skal fraktes over lengre avstand eller lagres over tid siden hydrogen enten må komprimeres, gjøres flytende eller omdannes til hydrogenderivater (som ammoniakk og metanol). Eksempelvis vil komprimert hydrogen fraktet via rørledning ha betydelig lavere konverteringskostnad enn å omforme hydrogen til ammoniakk eller flytende hydrogen og frakte med skip eller lastebil. Prosessering som øker den volumetriske energitettheten vil derfor måtte avveies mot redusert virkningsgrad og økte kostnader. De fire casene og resultatene er presentert i mer detalj nedenfor.

Case 1

Hydrogen produseres lokalt i Tyskland uten sesonglager, men med ukeslager i komprimert tank. Dette skal dekke en jevn etterspørsel over uken og året. Ettersom kraftprisen blir høyere om vinteren og uten mulighet til å kjøre elektrolyseren fleksibelt over lengre tid, vil produksjonskostnadene i dette tilfellet bli relativt høye (figur 24 (1)).

Case 2

Hydrogen produseres lokalt i Tyskland med sesonglager. I dette tilfellet produseres 70 prosent mer hydrogen om sommeren som lagres i saltgrotter og brukes for å dekke hydrogenetterspørselen i vintermånedene. Samtidig brukes en komprimert tank for timeslagring innenfor døgnet. Sesonglager brukes både til ukeslager

og månedslager. I dette tilfellet er det mulig å i større grad produsere hydrogen i timene med lavest kraftpris, og produksjonskostnadene inkludert lager blir mye lavere enn i case 1 (figur 24 (2)). I Tyskland og Nordvest-Europa er det stort potensiale for å bygge ut nye eller konvertere eksisterende saltgrottelager for storskalalagring over flere måneder.

Case 3

Hydrogen produseres i Sør-Italia med transport gjennom rørledning til Tyskland. Her kombineres elektrolyser med en liten hydrogentank for kortsiktig timeslagring. Landene i Nord-Afrika er også områder med lav produksjonskostnad for hydrogen hele året på grunn av mye sol, og der det er mulig med fysisk rørledning til Tyskland. I dette tilfellet blir produksjons- og transportkostnadene konkurransedyktige med sesonglager i Tyskland (figur 24 (3)).

Case 4

Hydrogen produseres i Chile med fornybar kraft. Deretter konverteres hydrogenet til ammoniakk som transporteres via skip til Tyskland der ammoniakk omdannes tilbake til hydrogen og dekker etterspørselen om vinteren. Ammoniakk har en høyere energitetthet enn hydrogen og kan derfor egnes for lagring og transport av hydrogen over lengre avstander. Kostnadsanalysen inkluderer lokal transport og lagring både i Chile og Tyskland, samt omforming til og fra hydrogen til ammoniakk og skipstransport fra Chile til Tyskland. Omformingen til og fra ammoniakk gjør dette til en relativt dyr løsning (figur 24 (4)).

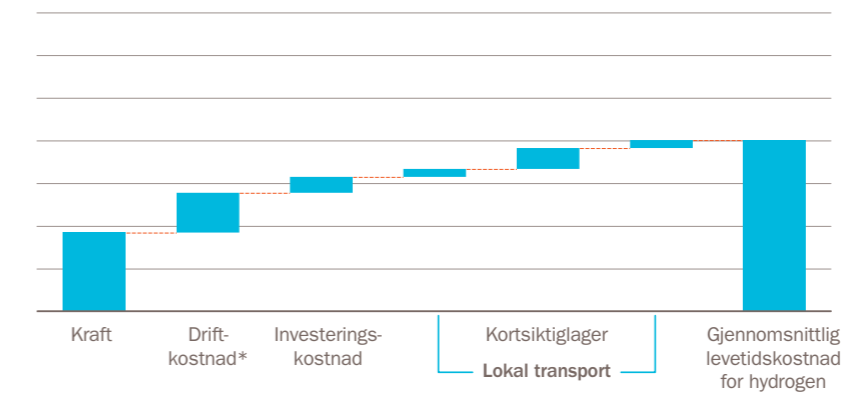
Når vi sammenligner de fire casene for 2050 ser vi at tyske kraftprisvariasjoner gjør sesonglagring av hydrogen attraktivt (case 2, figur 24 (2)). Sesonglagring vil kunne konkurrere med hydrogen fraktet via rørledning fra Sør-Europa og Nord-Afrika (case 3, figur 24 (3)). 23 gassrørledningsoperatører utreder nå mulighetene for et større hydrogennettverk som binder sammen industriklynger i Europa med områder med mye fornybar kraft, med visjon på hele 39 700 km med dedikerte hydrogenrørledninger innen 2040⁶⁵. For lengre avstander der fysiske rørledninger blir praktisk vanskelig, kan det være relevant å frakte hydrogen på skip via hydrogenderivater som grønn ammoniakk. Dette er spesielt aktuelt dersom ammoniakk er sluttproduktet (gjødselindustri, skipsdrivstoff). Ettersom det allerede i dag finnes et globalt ammoniakkmarked der ammoniakk fraktes på skip, er infrastruktur allerede delvis på plass. Vi ser at transport via skip har relativt lavere kostnad enn omformingskostnaden til og fra ammoniakk og at konvertering fra grønn ammoniakk tilbake til hydrogen i Tyskland gjør denne løsningen dyrere enn både sesonglager og regional transport via rørledninger (figur 24 (4)).

24

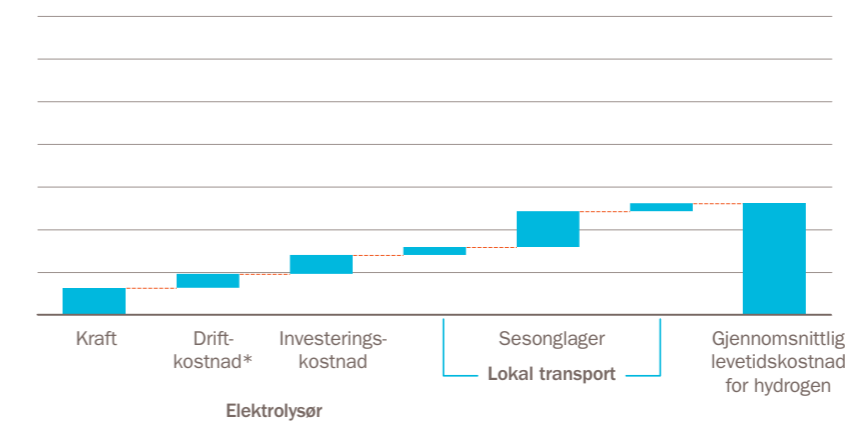
Kostnad for levert hydrogen (EUR/MWh)

* Kostnader i forbindelse med energitap i omdannelsen fra kraft til hydrogen er inkludert i driftkostnader

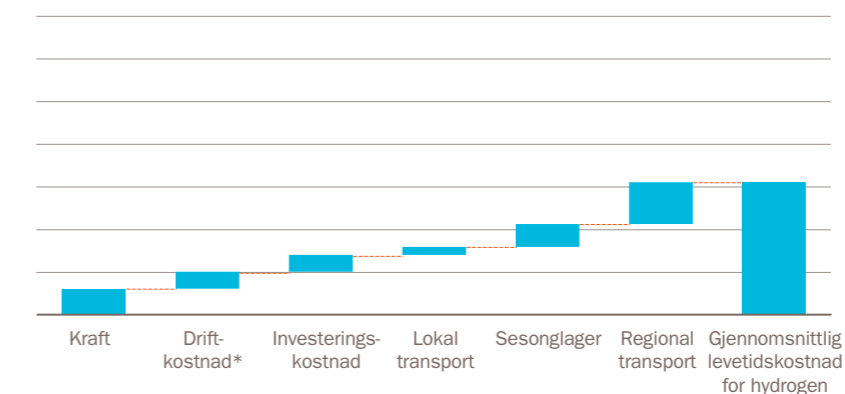
1. Tyskland - Kortsiktig lager



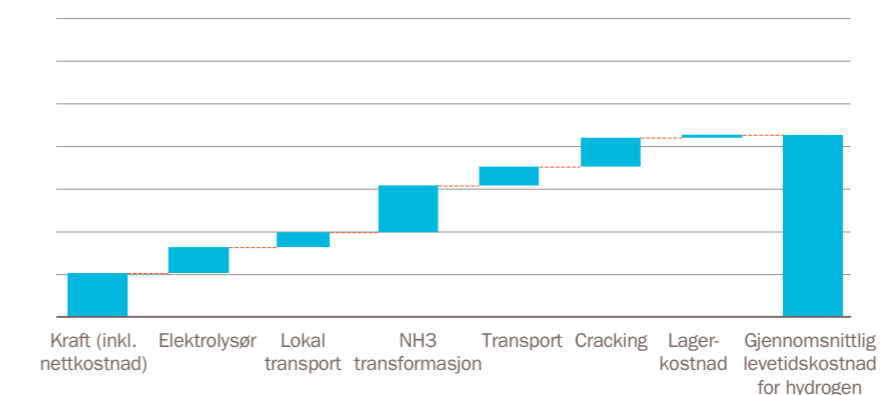
2. Tyskland Sesonglager



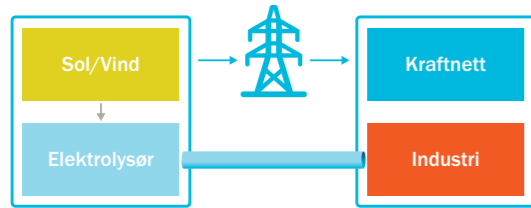
3. Tyskland import fra Sør-Italia



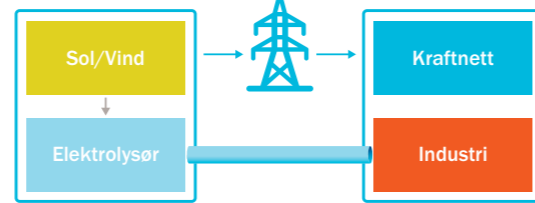
4. Tyskland import fra Chile



Uten hydrogeninfrastruktur



Med hydrogeninfrastruktur



Hydrogen bidrar til utslippsfri, fleksibel kraftproduksjon når alternativene er få

Å produsere kraft fra hydrogen innebærer store energitap. Omtrent 20-30 prosent av energien går tapt i elektrolyseren, og ytterligere rundt 40 prosent går tapt i kraftproduksjonen (hvis ikke spillvarmen utnyttes i andre sektorer som til fjernvarme). Totalt sett innebærer det at 60-70 prosent av energien går tapt, og derfor er det i de fleste tilfeller ikke en god løsning å bruke hydrogen til kraftproduksjon. I noen situasjoner, som for eksempel vinteruker med lav fornybar kraftproduksjon og høyt forbruk, kan kraftproduksjon fra hydrogen være en attraktiv utslippsfri løsning likevel, da det er få andre alternativer. Investeringskostnaden for hydrogenturbiner er relativt beskjedne i forhold til alternative utslippsfrie løsninger, noe som er avgjørende for å levere utslippsfri kraftproduksjon med få kjøretimer. Regulær vannkraft er et annet godt alternativ der dette er mulig, og effektutvidelse i eksisterende vannkraft er et av de økonomisk sett mest attraktive alternativene for å dekke fleksibilitetsbehovene i kraftmarkedet⁶⁶.

Grønn hydrogenproduksjon og hydrogeninfrastruktur kan komplementere kraftnettbygging

Med en høy andel variabel kraftproduksjon kan kraftprisene bli både veldig lave og veldig høye. Fleksibel grønn hydrogenproduksjon utnytter lave priser i kraftmarkedet. Derfor får hydrogenproduksjon et fortrinn i markedet med få andre kilder til fleksibilitet, og høy andel variabel kraftproduksjon. Fordelene med hydrogenproduksjon i markedet med mye annen fleksibilitet, særlig sesongfleksibilitet, er derimot at det trengs mindre hydrogenlager. Om vi snur på det

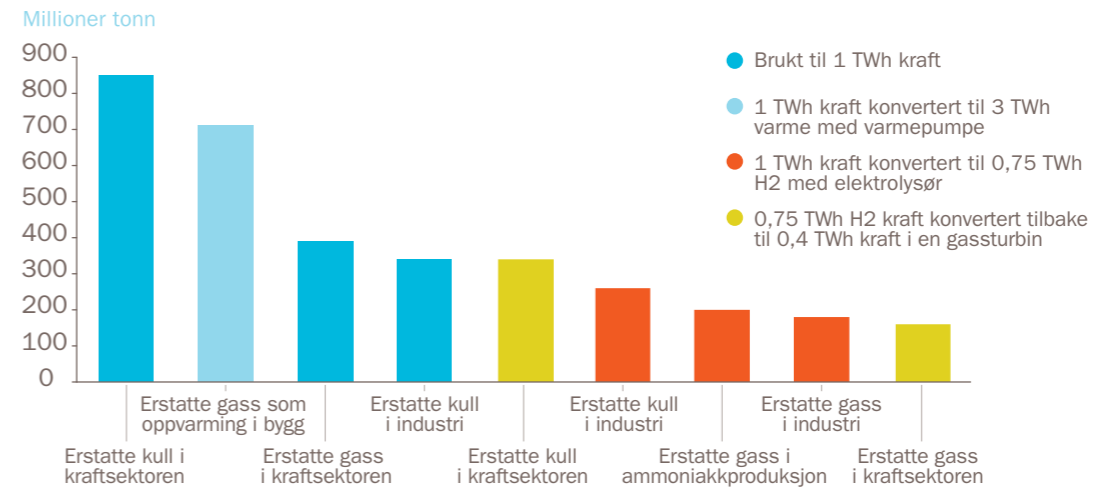
så vil store hydrogenlager på sin side jevne ut kraftprisforskjellen mellom sommer og vinter, og dette påvirker inntekten og nytten til andre fleksibilitetsløsninger som for eksempel store pumpekraftverk*.

Lokal hydrogenproduksjon kombinert med hydrogeninfrastruktur kan være med på å flytte kraft via hydrogen fra områder med gode fornybarressurser, enten til lands eller havs, til områder med hydrogenbehov. Vi ser at en godt utbygd hydrogeninfrastruktur kan komplementere kraftnett og kabler, og kan hjelpe til å redusere problemer rundt interne flaskehals der nettet ikke har kapasitet til å overføre nok kraft mellom regioner eller land. Selv om hydrogeninfrastruktur kan støtte kraftnettet og lokale flaskehalsproblemer, er det fortsatt viktig med et godt utbygd kraftnett og mellomlandsforbindelser som kobler sammen kraftsystemer på tvers av regioner og land for å kunne integrere økte andeler fornybar kraftproduksjon mest mulig kostnadsoptimalt⁶⁷.

* Ulike fleksibilitetsløsninger vil bidra til å løfte de lave kraftprisene og dempe de høye prisene. Når ulike typer fleksibilitet konkurrerer med hverandre, bidrar dette til å dempe prisvariasjonen. Desto flere aktører som entrer markedet, desto mindre blir den marginale inntekten isolert sett per fleksibilitetsløsning.

25

CO2 reduksjon (millioner ton) ved forskjellige bruk av ren kraft. For å nå nullutslipp må alle utslipp kuttes, da blir hydrogen kritisk.



Å bruke kraften direkte til å erstatte gass eller kull i kraftsektoren er det mest effektive klimatiltaket, hvis mulig. For å nå nullutslipp må alle utslipp kuttes, da blir hydrogen kritisk.

Utslippsfritt hydrogen avgjørende for en utslippsfri verden

På grunn av virkningsgrad vil fornybar kraft gjøre størst nytte for klimaet ved å erstatte kull i kraftsektoren eller gass til oppvarming i forbindelse med en varmepumpe heller enn å bruke fornybar kraft til hydrogen som f.eks. erstatter gass i industrien (se figur 25). Dette skyldes at 20-30 prosent av energien går tapt i omvandlingen fra fornybar kraft til hydrogen. Samtidig er virkningsgraden fra kull og gass i kraftsektoren lavere enn i industrien. Kullkraft og gasskraftverk har typisk virkningsgrad på 40-60 prosent i kraftsektoren, mens gass i industriprosesser ofte har virkningsgrad på over 90 prosent.

Til tross for dette er det viktig at det satses på utslippsfritt hydrogen allerede i dag. Som nevnt innledningsvis i dette kapittelet, er utslippsfritt hydrogen en av få klimalløsninger for å avkarbonisere deler av industri- og transportsektoren, de såkalte «hard-to-abate» sektorer. Det vil ta tid å bygge opp en hydrogeninfrastruktur og produksjonskapasitet grunnet treghet i verdikjeder, prosesser og kompetanse. Dette må være på plass parallelt med at potensialet i kraftsektoren og varmesektoren tas ut slik at vi klarer å skalere opp grønt hydrogen raskt nok for at verden skal kunne komme til netto nullutslipp.



Utslippsfritt hydrogen en av få klimalløsninger for å avkarbonisere deler av industri- og transportsektoren.

8

Oversikt over transport- og lagerløsninger for hydrogen

På grunn av lav volumetrisk energitetthet, blir det raskt behov for å pakke hydrogen tettere sammen ved lagring, enten ved å komprimere til høyere trykk, kjøle ned til det blir flytende eller binde hydrogen kjemisk til et annet stoff. For lagring av store volum hydrogen, blir lagring under bakken i geologiske formasjoner et attraktivt alternativ, men det er fortsatt knyttet usikkerhet rundt de best egnede geologiske områdene. Generelt forventer vi at det blir mest vanlig å lagre utslippsfritt hydrogen på følgende måter avhengig av tid og mengde som skal lagres:

- På grunn av saltstrukturens egenskaper ser konvertering av eksisterende eller bygging av nye underjordiske saltgrotter på land ut til å være den billigste og teknisk beste måten å lagre større mengder med hydrogen over tid der dette er mulig. Europa har store potensial for utbygging og konvertering av hydrogensaltgrotter. Saltgrotter er også relativt fleksible i forhold til hvor raskt hydrogen kan injiseres og hentes ut av lager⁶⁸.
- Komprimert hydrogen på tank er fleksibelt og mest brukt i dag, men blir fort dyrt hvis store mengder hydrogen skal lagres.

Andre lagerløsninger er mer umodne eller krevende med hensyn til teknologi, sikkerhet og lekkasje, og kostnader. Dette gjelder blant annet lagring i underjordiske berggrotter, tomme gass- eller oljeresservoarer, tomme gruver, akvifer, og kjemisk lagring som for eksempel ammoniakk.

Generelt forventer vi at utslippsfritt hydrogen vil transporteres på følgende måter avhengig av avstand og mengde som skal transporteres:

Komprimert hydrogen via lastebil for mindre volum og avstand.

Hydrogen komprimeres til 250 - 500 bar og kan frakte 500 - 1 000 kg per lastebil.

Å komprimere hydrogengass krever 3 - 4 ganger mer energi enn naturgass.

Mindre volum kan fraktes på denne måten innenfor en radius på ca. 500 - 600 km. Kostnadene varierer med drivstoff og arbeidskraft, og i mindre grad av mengde hydrogen. For større hydrogenvolum over lengre avstander vil rørledning være mer kostnadseffektivt.

Flytende hydrogen via lastebil for større volum og avstand

Lastebiler kan frakte flytende hydrogen med temperatur på -252°C innenfor isolerte tanker, men det er noe hydrogentap underveis. Typisk kapasitet er 4 000 kg per lastebil.

På grunn av den lave temperaturen brukes rundt 30 prosent av energien til å gjøre hydrogen flytende.

Komprimert hydrogen via rørledning der dette er utbygd, for store volum og opp mot 5 000 km

Dette tilsvarer hovedmåten fossilgass transporteres på i dag. Hydrogen er lettere enn fossilgass (metan) og transporteres nesten tre ganger raskere gjennom en rørledning, men har syv ganger lavere volumetrisk energitetthet. Samme rørledning vil derfor frakte 20 - 25 prosent mindre energi med hydrogen i forhold til fossilgass.

Materialer i rørledningene vil bestå av stål som har høy motstandsdyktighet mot korrosjon, eller kompositt (nyere, mindre vanlig). Kostnadene vil være høyere enn for fossilgass og avhenger sterkt av brukstid. Med høy brukstid, vil dette være mest kostnadseffektive måten å transportere store volum på. Et hydrogenrørnett kan bygges ved å enten konvertere eksisterende fossilgassrørledninger eller bygge nye til litt høyere kostnad.

Hydrogengassen komprimeres til ca. 70 - 100 bar og kompressorstasjoner installeres langs rørledningene for å kompensere for trykktap underveis.

I Europa forventes det at en dedikert hydrogeninfrastruktur gradvis bygges ut mot 2050 og kan legge til rette for regionale hydrogenmarkeder. Denne investeringen er kapitalintensiv og vil trenge politisk tilrettelegging og rammeverk. Reguleringer rundt sikkerhet, måling, eierskap av infrastruktur, osv, tilsvarende som for fossilgass blir nødvendig.

Hydrogenderivater som grønn ammoniakk fraktes via skip for avstand over 5 000 km

For lengre avstander mellom kontinenter vil vi trolig se hydrogen fraktet som utslippsfri ammoniakk via skip i framtiden. Dette lagrer mer energi per volumenhet enn flytende hydrogen og vi kan bruke ammoniakk direkte uten å konvertere det tilbake til hydrogen.

Andre muligheter er å binde hydrogen kjemisk til flytende organiske væsker (LOHC – liquid organic hydrogen carriers) eller blande hydrogen med magnesium som kan transporteres via skip. Dette er per i dag relativt kostbare og umodne måter.



En energiverden i tråd med en 1,5°C bane trenger enda mer fornybar kraft og enda mer elektrifisering av sluttbruk, og alt må komme mye raskere.

Oppsummering

I vårt Lavutslippsscenario vil Europa møte målet sitt om netto null utslipp i 2050, men farten i energiomstillingen er ikke like høy andre deler av verden. Scenariet legger til grunn at økte klimaambisjoner og fallende teknologikostnader resulterer i energirelaterte CO₂ utslipp i tråd med en 2°C-bane, men vil ikke ta oss hele veien til 1,5°C. Hvert desimal vi klarer å begrense av utslipp er viktig. For å komme til en 1,5°C-bane trengs et temposkifte.

En energiverden i tråd med en 1,5°C bane trenger enda mer fornybar kraft og enda mer elektrifisering av sluttbruk, og alt må komme mye raskere. Det blir nødvendig å raskt utvikle og kommersialisere ny teknologi. Sann som grønt hydrogen som bærer for den fornybare kraften til sektorer som vanskelig kan elektrifiseres. Hydrogen er allerede en viktig løsning i Lavutslippsscenarioet, men må ytterligere skaleres opp for å følge en 1,5°C-utslippsbane. Våre analyser viser at samspillet mellom grønt hydrogen og kraftmarkedet blir betydelig.

I Lavutslippsscenarioet kommer mer enn ti prosent av krafttetterpørselen fra grønt hydrogen globalt i 2050, og mer enn 20 prosent i Europa. Grønt, fleksibelt hydrogen vil produsere mer om dagen og sommeren når det er mye sol. Dette bidrar til å absorbere den økte andelen variabel fornybar kraft i kraftsystemene. Dermed blir avhengigheten mellom sol-, vindkraft og hydrogenproduksjon betydelig.

Siste IPCC rapport konkluderer med at en 1,5°C utslippsbane fortsatt kan være mulig, men vil kreve en omfattende og rask endring. Vi har observert raske endringer i energisektoren siste årene, særlig innen sol-, vindkraft, batterier og elektrolysører. Covid-19 har også vist oss at rask global handlekraft er mulig når man er nødt. En raskere utvikling enn vi har lagt til grunn i Lavutslippsscenarioet fordrer globalt samarbeid og at klimapolitikk ikke bare legger til rette for, men aktivt bidrar til å akselerere energiomstillingen vi er midt oppe i.

ANNEKS 1:

Nøkkelparametre i Statkrafts Lavutslippsscenario, sammenlignet med IEA og Bloomberg NEF⁶⁹

Sektorer	Statkrafts Lavutslippsscenario 2021	IEA STEPS (2020)	IEA Net zero (2021)	BNEF NEO (2021) Green Scenario
Årlig vekst i primær energietterspørsel 2019-50	-0,2 %	0,82 %	-0,39 %	-0,38 %
Kraftsektor				
Etterspørsel	2,7 %	1,91 % (til 2040)	3,19 %	5,07 %
Vindkraft	8,4 %	6,60 % (til 2040)	9,66 %	13,5 %
Solkraft	11,7 %	10,6 % (til 2040)	12,2 %	12,4 %
Vannkraft	1,5 %	1,53 % (til 2040)	2,21 %	-
Fossilandel i kraftsektor (TWh, 2050)	16,1 %	44,5 % (til 2040)	0,36 %	0,00
Primærenergi				
Oljeforbruk: årlig vekst 2019-50	-2,70 %	0,31 % (til 2040)	-4,75 %	-5,91 %
Gassforbruk: årlig vekst 2019-50	-0,06 %	1,23 % (til 2040)	-6,55 %	-6,06 %
Kullforbruk: årlig vekst 2019-50	-2,74 %	-0,62 % (til 2040)	-12,0 %	-12,3 %
Globale energi-relaterte CO ₂ -utslipp (GtCO ₂) i 2050	14,7	33,3 (i 2040)	0,0	0,0

ANNEKS 2:

Forutsetninger og hvilke utslipp som dekkes i Lavutslippsscenarioet

Statkrafts Lavutslippsscenario strekker dagens globale energitrender 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.

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 samfunns-optimale løsningene for Europa blir valgt. Kostnadsoptimeringen gjøres på tvers av regioner og sektorer.

Utgangspunktet for analysene er en økonomisk vekst og befolkningsvekst i tråd med en markedsconsensus. Globale parametere er kalibrert til historiske data i tråd med IEA World Energy Outlook 2020. I Lavutslippsscenarioet har vi lagt til grunn at vekstraten i økonomien kommer tilbake, mens det forventes at den globale økonomien og energietterspørselen holder seg lavere over hele perioden sammenlignet med forventningene før Covid-19-pandemien.

Hvilke utslipp dekkes i Lavutslippsscenarioet?

Utslippene som blir analysert i Lavutslippsscenarioet er energirelaterte CO₂-utslipp. Dette er utslipp i forbindelse med forbrenning av brensler (ekskudert brenning av ikke-fornybart avfall). Andre utslipp som ikke er inkludert er diffuse utslipp (det vil si lekkasjer, utslipp blant annet fra transport og lagring av brensler) og industriprosessutslipp.

Prosessutslipp er utslipp fra kjemiske reaksjoner i fremstillingen av for eksempel kjemikalier, sement eller visse metaller. Det vil si utslipp som ikke kommer fra forbrenning og som derfor ikke kan reduseres med å erstatte fossile brenslere med økt bruk av elektrisitet. Disse er ikke inkludert i Lavutslippsscenarioet.

I tillegg til dette kommer CO₂-utslipp fra arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF), dette er heller ikke inkludert i Lavutslippsscenarioet. Utslippene fordeles på kraftsektoren, byggsektoren, transportsektoren, industriktoren og samlebetegnelsen andre sektorer:

- **Kraft:** utslipp fra kraftverk, varmeverk og kombinert kraft og varmeverk.
- **Bygg:** Utslipp fra boliger, kommersielle og institusjonelle bygninger, samt fra ikke-spesifiserte andre bygg. Slike utslipp inkluderer blant annet oppvarming og nedkjøling av rom, oppvarming av vann, belysning, apparater og matlagningsutstyr.
- **Transport:** Utslipp fra transport av varer og personer innenfor et nasjonalt område, uavhengig av sektor. Dette inkluderer utslipp fra transport på offentlige veier eller på jernbane, fra innenlands havtransport og fra innenlands flytransport. I tillegg kommer utslipp fra transport av brenslere gjennom rørledninger. Utslipp fra internasjonal transport er presentert på internasjonalt nivå.
- **Industri:** Utslipp i forbindelse med forbrenning og produksjon av varme i produksjons- og konstruksjonsindustriene. Utslippene inkluderer blant annet utslipp fra jern og stålproduksjon, kjemisk og petrokjemisk industri, sement og papirmasse og papirindustri. Inkluderer også utslipp fra kjøretøy som ikke bruker offentlige veier.

- 1 IPCC (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- 2 BBC (2021). Canada weather: Dozens dead as heat-wave shatters records: <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-57654133>
Vera, A. et al. (2021). 80 large fires have consumed more than 1 million acres across western parts of the US: <https://edition.cnn.com/2021/07/18/us/western-us-wildfires-heatwave-sunday/index.html>
Freedman, A. (2020). Hottest Arctic temperature record probably set with 100-degree reading in Siberia: <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/06/21/arctic-temperature-record-siberia/>
The Guardian (2020). Brazil's Amazon rainforest suffers worst fires in a decade: <https://www.theguardian.com/environment/2020/oct/01/brazil-amazon-rainforest-worst-fires-in-decade>
BBC (2021). Greece fires: Foreign teams join battle on Evia island: <https://www.bbc.com/news/world-europe-58160938>
- 3 BBC (2021). China flood death toll rises sharply to over 300: <https://www.bbc.com/news/world-asia-china-58056667>
Nugent, C. (2021). How Deadly Flooding in Germany and Belgium Exposed Europe's Climate Change Hubris: <https://time.com/6081472/germany-flooding-climate-change/>
BBC (2021). India monsoon: 110 dead after heavy rainfall in Maharashtra: <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-57938839>
- 4 IPCC (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
McGrath, M. (2021). Climate change: US-Canada heat-wave 'virtually impossible' without warming: <https://www.bbc.com/news/science-environment-57751918>
- 5 IPCC (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- 6 European Commission (2021). Special Eurobarometer 513: Climate Change: Report: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2273>
- 7 IPCC (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
WHO (2021). Coronavirus (COVID-19) Dashboard: <https://covid19.who.int/> (01.10.2021)
IMF (2021). World Economic Outlook Update, July 2021: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2021/07/27/world-economic-outlook-update-july-2021>
IEA (2021). Oil Market Report, August 2021: <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-august-2021>
IEA (2021). Global Energy Review 2021: <https://www.iea.blob.core.windows.net/assets/d0031107-401d-4a2f-a48b-9eed19457335/GlobalEnergyReview2021.pdf>
- 8 BNEF (2021). Energy Transition Investment Hit \$500 Billion in 2020 – For First Time: <https://about.bnef.com/blog/energy-transition-investment-hit-500-billion-in-2020-for-first-time/>
- 9 CBO (2021). Additional Information About the Budget Outlook: 2021 to 2031: <https://www.cbo.gov/publication/56996>
European Commission (2021). The EU's 2021-2027 long-term budget & NextGenerationEU: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d3e77637-a963-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
European Commission (2021). The EU as a borrower – investor relations: https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget/eu-borrower-investor-relations_en
- 10 UNCCC (2021). Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat: <https://unfccc.int/documents/306848>
IPCC (2018). Special Report: Global Warming of 1.5 °C: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
IPCC (2021). AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- 11 Energy&Climate (2021). Net Zero Tracker: <https://eci.net/netzerotracker> (01.10.2021)
- 12 Ibid
- 13 Climate Action Tracker (2021). Warming Projections Global Update, May 2021: https://climateactiontracker.org/documents/853/CAT_2021-05-04_Briefing_Global-Update_Climate-Summit-Momentum.pdf
UNCCC (2021). Nationally determined contributions under the Paris Agreement. Synthesis report by the secretariat: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08_adv_1.pdf
- 14 World Bank (2020). State and Trends of Carbon Pricing 2020: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33809/9781464815867.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- 15 IEA (2020). World Energy Outlook 2020: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
IEA (2010). World Energy Outlook 2010: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2010>
- 16 Committee on Climate Change (2019). Net Zero: The UK's contribution to stopping global warming: <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2019/05/Net-Zero-The-UKs-contribution-to-stopping-global-warming.pdf>
Committee on Climate Change (2021). Sixth Carbon Budget: <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget/>
- 17 European Commission (2021). EU climate action and the European Green Deal: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en
European Commission (2021). A European Green Deal: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- 18 European Commission (2021). Delivering the European Green Deal: https://ec.europa.eu/info/publications/delivering-european-green-deal_en
- 19 European Commission (2021). 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=ENw>
- 20 The White House (2021). FACT SHEET: President Biden Sets 2030 Greenhouse Gas Pollution Reduction Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs and Securing U.S. Leadership on Clean Energy Technologies: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/22/fact-sheet-president-biden-sets-2030-greenhouse-gas-pollution-reduction-target-aimed-at-creating-good-paying-union-jobs-and-securing-u-s-leadership-on-clean-energy-technologies/>
- 21 The White House (2021). FACT SHEET: President Biden Announces Support for the Bipartisan Infrastructure Framework: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/06/24/fact-sheet-president-biden-announces-support-for-the-bipartisan-infrastructure-framework/>
- 22 United States Climate Alliance. Alliance principles: <https://www.usclimatealliance.org/alliance-principles>
World Bank (2021). State and Trends of Carbon Pricing 2021: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>
- 23 BP (2021). Statistical Review of World Energy 2021. <https://www.usclimatealliance.org/alliance-principles>
BP (2021). Statistical Review of World Energy 2021. China's energy market in 2020: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-china-insights.pdf>
Global carbon project (2020). Global Carbon Budget 2020: https://www.globalcarbonproject.org/carbon-budget/20/files/GCP_CarbonBudget_2020.pdf
- 24 Climate Action Tracker (2021). Country summary China: <https://climateactiontracker.org/countries/china/>
BNEF (2021). U.S., China Pledges Inject Hope Into COP Talks: Green Insight: <https://www.bnef.com/news/964505>
- 25 CarbonBrief (2021). Q&A: What does China's 14th 'five year plan' mean for climate change?: <https://www.carbonbrief.org/qa-what-does-chinas-14th-five-year-plan-mean-for-climate-change>
Global Energy Monitor & CREA (2021). China Dominates 2020 Coal Plant Development: <https://globalenergy-monitor.org/wp-content/uploads/2021/02/China-Dominates-2020-Coal-Development.pdf>
- 26 IRENA (2021). Renewable capacity statistics 2021: <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>
- 27 CarbonBrief (2021). In-depth Q&A: Will China's emissions trading scheme help tackle climate change?: <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-will-chinas-emissions-trading-scheme-help-tackle-climate-change>
- 28 IEA (2021). India Energy Outlook 2021: <https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021>
- 29 IEA (2021). India Energy Outlook 2021: <https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021>
UNCCC (2016). India first NDC: <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=IND>
Agrawal, S. (2020). State of Electricity Access in India: <https://www.ceew.in/publications/state-electricity-access-india>
- 30 IEA (2021). India Energy Outlook 2021: <https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021>
- 31 Ibid
- 32 BP (2021). Statistical Review of World Energy: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- 33 The European Parliament, The Council (2020). Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32020R0852>
- 34 Joe Biden (2019). Climate: 10 Million Clean Energy Jobs: <https://joebiden.com/climate-labor-fact-sheet/>
Energi Norge (2021). Fornybarometeret, mars 2021: <https://www.energinorge.no/publikasjoner/rapport/2021/fornybarometeret-2021/>
- 35 IRENA (2020). Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2020: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/IRENA_RE_Jobs_2020.pdf
- 36 IRENA (2021). World energy transition outlook, 1.5 ° C pathway: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>
IRENA (2020). Focus on Jobs: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Feb/IRENA_Transition_jobs_2020.pdf
IRENA (2020). Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2020: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Sep/IRENA_RE_Jobs_2020.pdf
- 37 IEA (2021). Net zero by 2050 <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- 38 Harvey, F. (2021). New climate science could cause wave of litigation against businesses – study: <https://www.theguardian.com/environment/2021/jun/28/new-climate-science-could-cause-wave-of-litigation-against-businesses-study>
The Guardian (2021). Australian court finds government has duty to protect young people from climate crisis: <https://www.theguardian.com/australia-news/2021/may/27/australian-court-finds-government-has-duty-to-protect-young-people-from-climate-crisis>
- 39 CNBC (2021). Dutch court rules oil giant Shell must cut carbon emissions by 45% by 2030 in landmark case: <https://www.cnbc.com/2021/05/26/dutch-court-rules-oil-giant-shell-must-cut-carbon-emissions-by-45percent-by-2030-in-landmark-case.html>

- 40 ESG Today (2021). EU Extends Mandatory Sustainability Reporting to 50,000 Companies: <https://www.esgtoday.com/eu-extends-mandatory-sustainability-reporting-to-50000-companies/>
- 41 NVE (2020). Kartlegging og vurdering av potensial for effektivisering av oppvarming og kjøling i Norge: http://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2020/eksternrapport2020_08.pdf
NOVAP (2020). Varmepumpemarkedet. Trendfremskrivning for varmpumpesalg: <https://www.novap.no/uploads/media/60478ec202a44/prognosesenteret-trendfremskrivninger.jpg>
SSB (2021). Produksjon og forbruk av energi, energibalanse og energiregnskap: <https://www.ssb.no/statbank/table/11563/tableViewLayout1/>
NVE (2011). Energibruk. Energibruk i Fastlands-Norge: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2011/rapport2011_09.pdf
- 42 EHPA (2021). Market Data: <https://www.ehpa.org/market-data/>
- 43 BNEF (2021). New Energy Outlook 2021: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>
BNEF (2021). 2Q 2021 Electrified Transport Market Outlook: <https://www.bnef.com/insights/26773/view>
Volkswagen (2021). Strategy update at Volkswagen: "The transformation to electromobility was only the beginning": <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/strategy-update-at-volkswagen-the-transformation-to-electromobility-was-only-the-beginning-6875>
Volvo (2021). Volvo Cars ska vara helt elektriskt senast 2030: <https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/277409/volvo-cars-ska-vara-helt-elektriskt-senast-2030>
Ford (2021). Ford boosts EV spending, outlines 2030 sales targets, shares near 5-year high: <https://auto.hindustantimes.com/auto/news/ford-boosts-ev-spending-outlines-2030-sales-targets-shares-near-5-year-high-41622042387502.html>
Ford (2021). Ford europe goes all-in on evs on road to sustainable profitability; cologne site begins \$1 billion transformation: <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/news/2021/02/17/ford-europe-goes-all-in-on-evs-on-road-to-sustainable-profitabil.html>
Mercedes-Benz (2021). Mercedes-Benz blir helelektrisk: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/mercedes-benz-blir-helelektrisk?publisherId=17847240&releaseld=17912701>
The White house (2021). FACT SHEET: Biden Administration Advances Electric Vehicle Charging Infrastructure: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/state-ments-releases/2021/04/22/fact-sheet-biden-administration-advances-electric-vehicle-charging-infrastructure/>
- 44 IEA (2021). Global EV Outlook 2021: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- 45 BNEF (2021). G20 Zero-Carbon Policy Scoreboard – Circular Economy: <https://www.bnef.com/insights/25561>
- 46 Silvia Madeddu et al (2020). The CO₂ reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat): <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abbd02/pdf>
- 47 BNEF (2020). Circular Economy Series: Steel: <https://www.bnef.com/shorts/9415>
- 48 BNEF (2020). EU's New Circular Economy Action Plan: <https://www.bnef.com/insights/22467/>
- 49 GE (2021): GE Renewable Energy finalizes contracts for third phase of Dogger Bank offshore wind farm: <https://www.bnef.com/insights/22467/>
- 50 BNEF (2020). Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk: <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/>
- 51 BNEF (2020). EU Plays Safe on 2030 Offshore Wind Goal, Bets Big on 2050: <https://www.bnef.com/shorts/9415>
Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2020). New plans to make UK world leader in green energy: <https://www.gov.uk/government/news/new-plans-to-make-uk-world-leader-in-green-energy>
- 52 European Commission (2020). An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/offshore_renewable_energy_strategy.pdf
- 53 TenneT (2020). National Grid and TenneT to jointly develop vision to link offshore wind farms to Britain and the Netherlands: <https://www.tennet.eu/news/detail/national-grid-and-tennet-to-jointly-develop-vision-to-link-offshore-wind-farms-to-britain-and-the-netherlands/>
BBC (2021). Denmark to build 'first energy island' in North Sea: <https://www.bbc.com/news/world-europe-55931873>
- 54 IMF (2019). Working Paper 19/89: Global Fossil Fuel Subsidies Remain Large: An Update Based on Country-Level Estimates: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/05/02/Global-Fossil-Fuel-Subsidies-Remain-Large-An-Update-Based-on-Country-Level-Estimates-46509>
- 55 IEA (2021). Net zero by 2050: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- 56 IEA (2021). Net zero by 2050: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- 57 Grafer er utarbeidet i samarbeid med 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 analyse, IEA WEO20
- 58 Statkraft (2019). Statkrafts Lavutslippsscenario: Globale energitrender og norske muligheter: <https://www.statkraft.no/globalassets/1-statkraft-public/lavutslippsscenario/2019.pdf>
- 59 BNEF (2021). 2H 2021 Hydrogen Market Outlook. China Drives a Gigawatt: <https://www.bnef.com/insights/26977/view>
BNEF 2H 2021 Hydrogen Market Outlook <https://www.bnef.com/insights/26977/view>
Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2021). UK hydrogen Strategy: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-hydrogen-strategy>
Collins, L. (2021). Hydrogen now firmly at the heart of the global race to net zero — for better or worse: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/hydrogen-now-firmly-at-the-heart-of-the-global-race-to-net-zero-for-better-or-worse/2-1-1058073>
- 60 IEA (2021). Net zero by 2050: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- 61 Bellona Europe (2021). Hydrogen in steel production: what is happening in Europe – part one: <https://bellona.org/news/climate-change/2021-03-hydrogen-in-steel-production-what-is-happening-in-europe-part-one>
- 62 BNEF (2020). Hydrogen Economy Outlook: <https://www.bnef.com/insights/22567/view>
World Steel Association (2021). Hydrogen (H₂)-based ironmaking: https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:2f02dcd8-9ae8-46e1-ae05-a9797b03d6bd/Hydrogen_vf.pdf
- 63 BNEF (2020). Hydrogen Economy Outlook: <https://www.bnef.com/insights/22567/view>
- 64 German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020). The National Hydrogen Strategy: https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publication-File&v=4
- 65 Gas for Climate (2021). Extending the European Hydrogen Backbone: https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/European-Hydrogen-Backbone_April-2021_V3.pdf
- 66 IEA (2021). Hydropower Special Market Report: <https://www.iea.org/reports/hydropower-special-market-report>
- 67 Jacobs, M. Z. (2021). The cost of grid stability with 100 % clean, renewable energy for all purposes when countries are isolated versus interconnected: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148121011204>
- 68 Caglayan, D. G. (2020). Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919347299>
- 69 IEA (2020). World Energy Outlook 2020: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
IEA (2021). Net zero by 2050: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- BNEF (2021). New Energy Outlook 2021: Data Viewer (1.0.3): <https://www.bnef.com/insights/26815>

